

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Hydraulika stříhadla profilů

Hydraulic of Profile Cutting

Student:

Bc. Martin Bereza

Vedoucí diplomové práce:

Dr. Ing. Miroslav Bova

Ostrava 2012

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Bereza**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 16 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení
Téma: **Hydraulika stříhadla profilů**
Hydraulic of Profile Cutting

Zásady pro vypracování:

Proved'te rozbor použití profilů v průmyslu.
Vyberte nejvhodnější řešení stříhadla a to rozpracujte do formy projektu.
Ve vybraném řešení proveďte potřebné výpočty (hydraulické a tepelné)
Nakreslete výrobní dokumentaci hydraulického agregátu
Vypracujete návod na obsluhu a údržbu zařízení.

Seznam doporučené odborné literatury:

SIVÁK, V. Projektování hydraulických systémů. Ostrava VŠB-TU Ostrava, 1990. 331s Skriptum ISBN 80-7078-037-1
PIVOŇKA, J. Tekutinové mechanismy, Praha, SNTL 1987. 623S
Projekční podklady firmy Interfluid.
Kolektiv autorů Úvod do strojírenství, Liberec 2001, ISBN 80-7083-538-9

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Dr. Ing. Miroslav Bova**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012

prof. RNDr. Milada Kozubková, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21. 5. 2012

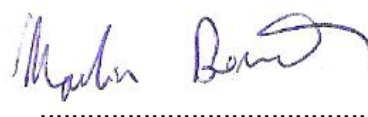


.....
Martin Bereza

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 21. 5. 2012



podpis

Martin Bereza

Sušice 22; 751 11

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Dr. Ing. Bovovi za zájem, připomínky a čas, který věnoval mé práci. Poděkovat bych chtěl také katedře hydromechaniky a hydraulických zařízení VŠB – TUO za poskytnutí podmínek pro vznik této práce.



ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

BEREZA, M. *Hydraulika stříhadla profilů: diplomová práce.*

Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2012, 60 s. Vedoucí práce: Bova, M.

Diplomová práce se zabývá návrhem hydraulického agregátu pro pohon prostřihovacího stroje profilů. Úvodní část popisuje užití profilů v průmyslu a způsob výroby děrovaných profilů. Dále je v úvodní části popsána technologie děrování, střížná síla a popis některých prostřihovacích strojů. Další část se zabývá možnostmi řešení hydraulického obvodu a následují hydraulické a tepelné výpočty zvoleného obvodu. Na základě výpočtů jsou navrženy jednotlivé prvky, které jsou přiloženy ve specifikaci prvků v příloze diplomové práce. Dále je vypracován návrh pro obsluhu a údržbu, který popisuje činnost stroje. Přílohy obsahují sestavný výkres hydraulického agregátu s kusovníkem, funkční schéma obvodu, motorovou listinu a výrobní výkres víka nádrže, dále pak je přiložena specifikace prvků a průběh tlaků při stříhu profilu.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

BEREZA, M. *Hydraulic of Profile cutting: Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Systems, 2012, 60 p. Thesis Head: Bova, M.

The thesis is about the design of hydraulic unit for the drive of cutting press machine of sections. The first part describes using of sections in industry and the way of producing of perforated sections. Then the technology of perforation, cutting press power and the description of some cutting press machines are described. The next part shows possibilities of solving hydraulic circuit and then there are hydraulic and thermal computations of the circuit. The suggested components are enclosed in the specification of components in the supplement of the thesis. The design for operation and maintenance describes working of the machine. The supplements consist of the design of the hydraulic unit with fragmentation, the scheme of circuit, engine document, the design of the tank lid, specification of components and the process of cutting press of sections.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	10
0. Úvod	12
1. Použití děrovaných profilů v průmyslu	13
2. Způsob výroby děrovaných profilů	15
2.1 Technologie děrování	15
2.2 Stříhání šikmými noži	16
2.3 Střížná síla	17
2.4 Příklad stříhadla	18
3. Možnosti děrování plechů a profilů	19
3.1 Řezání plechů a profilů laserem	19
3.2 Prostřihávací stroje	20
3.2.1 Elektromechanický prostřihávací stroj	20
3.2.2 Hydraulický prostřihávací stroj	22
3.2.3 Vybavení hydraulického prostřihovacího stroje	23
3.2.4 Další hydraulické stroje na děrování profilů	24
3.2.5 Vysekávací stroje s profilovými nůžkami	28
4. Možnosti provedení hydraulického obvodu prostřihovacího stroje	28
4.1 Hydraulický obvod s řízením hlavního válce jedním obvodem	29
4.2 Hydraulický obvod s řízením hlavního válce dvěma obvody	31
4.3 Hydraulický obvod s proporcionálním rozváděčem	33
4.4 Hydraulický obvod s proporcionálním rozváděčem a akumulátorem	35
5. Volba hydraulického obvodu stříhadla profilů	37
6. Hydraulické a tepelné výpočty vybraného řešení stříhadla	38
6.1 Průběhy tlaků a zdvih hydraulického válce	38
6.2 Střížná síla a rozměry válce	40
6.3 Výpočet potřebného průtoku, doby vysouvání a rychlosti	41
6.4 Znázornění průběhu výkonu při stříhu a výpočet ekvivalentního výkonu	43

6.5	Stříhání přes jednu stěnu – výpočet průtoku, doby zdvihu, výkonu	45
6.6	Porovnání parametrů při stříhu přes jednu stěnu a přes obě stěny	48
7.	Výpočet obvodu pro typování, přidržení a pro filtraci	48
7.1	Volba druhého válce a návrh druhého čerpadla	49
7.2	Parametry vysouvání hlavního válce	50
7.3	Tepelný výpočet obvodu a návrh filtrační jednotky	51
8.	Návod na obsluhu a údržbu	52
8.1	Použití	52
8.2	Popis základních prvků a částí hydraulického agregátu	52
8.3	Obsluha a údržba	54
8.4	Technická data	55
8.5	Materiál a provedení hydraulického agregátu	56
8.6	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci	56
8.7	Objednávání náhradních dílů	56
8.8	Dodávka a záruky	56
8.9	Některé možné poruchy a jejich řešení	57
9.	Závěr	58
10.	Seznam použité literatury	59
11.	Seznam příloh	60

Seznam použitých značek a symbolů

Symbol	Význam	Jednotka
D	Průměr pístu	$[mm]$
F_s	Střížná síla	$[N]$
F	Síla	$[N, kN]$
O	Střížný obvod	$[mm]$
P	Výkon	$[kW; W]$
P_{ekv}	Ekvivalentní výkon	$[kW]$
P_{el}	Výkon elektromotoru	$[kW]$
P_v	Výkon při stříhu	$[kW]$
P_z	Výkon při návratu	$[kW]$
$Q; Q_1; Q_2$	Průtok	$[m^3/s; dm^3/min]$
Q_v	Průtok při zpětném pohybu	$[m^3/s; dm^3/min]$
R_m	Mez kluzu	$[MPa]$
S	Plocha průřezu	$[m^2]$
S_h	Obsah plochy na horní straně válce	$[m^2]$
S_d	Obsah plochy na dolní straně válce	$[m^2]$
V_d	Objem válce na dolní straně	$[m^3]$
V_h	Objem válce na horní straně	$[m^3]$
V_n	Objem nádrže	$[dm^3]$
b	Délka stříhu	$[mm]$
d	Průměr otvoru	$[mm]$
d	Průměr pístnice	$[mm]$
d_d	Průměr dolní pístnice	$[mm]$
d_h	Průměr horní pístnice	$[mm]$
h	Zdvih válce	$[mm]$
j	Úhel stříhu, úhel sklonu nožů	$[^\circ]$
n	Otáčky	$[ot/min]$
s	Tloušťka materiálu	$[mm]$
t	Doba vysouvání, zasouvání, trvání	$[mm]$
t_1	Doba vysouvání válce	$[s]$
t_2	Doba zasouvání válce	$[s]$
v	Rychlost	$[m/s]$
v_v	Rychlost vysouvání	$[m/s]$
v_z	Rychlost zasouvání	$[m/s]$
π	Ludolfovo číslo	$[-]$

τ_s	Střihová pevnost, napětí ve smyku	[MPa]
Δp	Tlak	[MPa; bar]
Δp_v	Pracovní tlak - vysouvání	[bar]
Δp_z	Pracovní tlak - zasouvání	[bar]

0. Úvod

Jednouúčelové stroje jsou konstruovány pro určitý druh práce nebo operace, v tomto případě se jedná o prostřihovací stroj. Plní funkci prostřihování profilu a to konkrétně děrování, kdy dochází k vytváření děr na stěnách profilů v určité rozteči. Tyto díry potom mohou sloužit k uchycení, zavěšení či pro jinou funkci v průmyslu.

Cílem mé diplomové práce je navrhnout pro takový jednouúčelový stroj hydraulický agregát, který plně zabezpečí jeho správnou funkci. Také je potřeba navrhnout a zrealizovat vhodný funkční obvod pro prostřihování profilů a provést hydraulické a tepelné výpočty daného řešení. Další část práce se zabývá sestavením hydraulického agregátu tj. sestavným výkresem, na kterém je znázorněno rozmístění jednotlivých prvků. Pro uživatele tohoto stroje je dále vhodné vypracovat návod pro obsluhu a údržbu.

1. Použití děrovaných profilů v průmyslu

Děrované profily mohou být dodávány v různých formách, jako jsou například trubky, profily čtvercového nebo obdélníkového průřezu či speciálního tvaru, dle požadavků zákazníka. Profily se stále více používají ve všech odvětvích průmyslu jako konstrukční materiál pro stroje a zařízení, pro stavbu regálových systémů, vybavení prodejen nebo jako nejrůznější nosné rámy v automobilovém průmyslu [1], [2].

Moderní ocelové konstrukce bývají mnohdy tvořeny jednoduchými profily ve tvaru Z, C a sigma (Σ), které se vyrábějí z ocelového pozinkovaného plechu válcovaného za studena. Tloušťka plechu se pohybuje od 1,5 do 3 mm.



Obr. 1.1 – Regálový systém[1]

Profily se dále využívají pro střešní konstrukce obvodových plášťů a příček. Zajišťují rychlou a jednoduchou montáž, snižují hmotnost a jsou vysoce variabilní. Profily mohou mít montážní otvory, které usnadňují jejich montáž pomocí šroubů nebo nýtů. Otvory mohou být předvrtány, nebo dle požadavků je možnost děrování, které může být použito ve všech rovinách profilu. Dle užití profilů se povrch dále ještě opatřuje povrchovou úpravou [3].



Obr. 1.2 – Využití profilů pro střešní konstrukci[3]



Obr. 1.3 – Profil tvaru Z[3]

Nerezové profily – se vyrábějí buď v profilu čtvercovém nebo obdélníkovém. Profily jsou válcovány ze svitku a podélně svařovány (vnější svár je zbroušený, vnitřní zůstává). Svár leží vždy ve středu jedné strany, u obdélníkového průřezu na užší straně. Vnější stěna profilu může mít rozměry až 200 x 200 mm s tloušťkou stěny 1- 10 mm. Povrchová úprava nerezových profilů – mohou být mořené, kartáčované, případně broušené [4].



Obr. 1.4 – Ukázka děrovaných uzavřených profilů[5]

Děrování bez deformace se provádí u všech typů uzavřených a otevřených profilů, libovolných profilů – kruhové, čtvercové, obdélníkové, speciální. Je možno volit rozteče, jak pravidelné, tak i nepravidelné. Dále rozdělujeme děrování na jednostranné, oboustranné, třístranné, čtyřstranné a vícestranné. Je možno děrovat profily z libovolných materiálů od čela profilu až do úplného konce [5].

Hliníkové profily – velmi snadno se modelují a proto jako materiál získávají stále větší rozsah využití. Lisované hliníkové profily jsou použity ve všech průmyslových odvětvích – ve stavebnictví, dopravě, automobilovém průmyslu, elektrotechnickém a elektronickém průmyslu, strojírenství a mnoha dalších oborech.

Jednou z oblastí využití je stavebnictví. Díky jeho vlastnostem mohou tvořit architekti tvarově odvážná řešení staveb a projektanti pak lehké a odolné konstrukce. Lešenářské systémy z hliníkových profilů jsou jedním z prostředků, které vůbec umožňují vlastní stavební práce a zejména díky své nízké hmotnosti výrazně zvyšují produktivitu stavebních prací v porovnání s klasickými lešenářskými systémy.

Odolnost vůči korozi a nízká hmotnost se osvědčuje v automobilech, autobusech, vlacích, letadlech, nákladních automobilech i na lodích [6].

2. Způsob výroby děrovaných profilů

2.1 Technologie děrování

Děrováním lze vytvářet různé tvary, vystřižená část tvoří odpad. Nástroje (děrovadla) pracují na stejném principu jako stříhadla. Výrobkem je otvor, kterým se opatřují jak výlisky, výstřižky, tak i například svařence či profily. Jde o otvory kruhové, zejména pak profilové. Střižná plocha obsahuje mikrotrhliny, resp. otřepy. Tato operace se nazývá podle způsobu oddělování materiálu a společně s vystřihováním, prostřihováním, ostřihováním atd. patří do technologie stříhání.

Stříhání je jednou z metod dělení materiálu. Je to technologický proces, při kterém je materiál oddělován smykovým namáháním, které vyvolají střižné hrany nástroje. Oddělování se děje postupně nebo současně podél čáry stříhu.



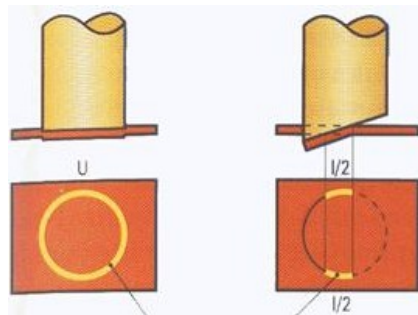
Obr. 2.1 – Princip stříhání pomocí stříhadla[7]

Stříhání probíhá ve třech fázích. V první fázi je oblast pružných deformací, kdy se materiál vtlačuje do otvoru střižnice a je stlačován a ohýbán. Ve druhé fázi je oblast pružných deformací. Střižník je vtlačován do materiálu a ten do otvoru střižnice. Napětí překračuje mez kluzu a blíží se mezi pevnosti. Ve třetí fázi se začínají objevovat na hranách trhlinky, které se rozšiřují, až dojde k utržení (usmýknutí) materiálu. Výstřižek se oddělí dříve, než projde střižník celou tloušťkou stříhaného materiálu a následně je výstřižek vytlačen [7].

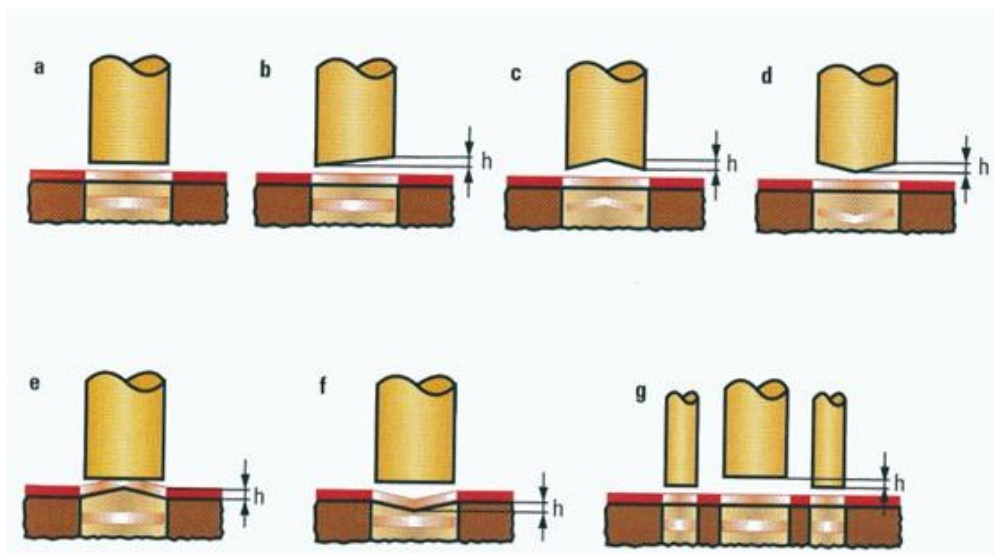
2.2 Stříhání šikmými noži

Stříhání šikmými, skloněnými noži, které při stříhání svírají určitý úhel, je výhodné z důvodu, že je potřeba menší celkové střížné síly oproti stříhání na rovných nožích. Materiál se stříhá postupně. Pro velikost střížné síly je pak rozhodující velikost střížné hrany a tloušťky.

Průběh okamžité síly je možno regulovat, i když se celková práce na stříhání nezmenší. U nástrojů, stříhadel, složených ze střížníku a střížnice, používaných pro dva nejrozšířenější způsoby stříhání, tj. děrování a vystříhování, to lze provést dvěma způsoby:



Obr. 2.2 – Porovnání délky stříhu při stříhání rovnými a šikmými noži [7]



Obr. 2.3 – Úpravy střížníku a střížnice (a – rovný stříh, b – jednostranné zkosení střížníku, c, d – oboustranné zkosení střížníku, e, f – zkosení střížnice, f – stupňovité uspořádání střížníku [7])

Stříhadla se zkoseným ostrím používáme, pokud chceme zmenšit střížnou sílu, která je větší, jak síla lisu. U děrování je střížnice rovná a střížník zkosený, výrobek je potom rovný, odpad ohnutý [7].

2.3 Střížná síla

Střížná síla F_s dosahuje svého maxima těsně před porušením soudržnosti. Stříh proběhne podél linie „s“, která je čarou maximálního smykového napětí daného materiálu. Velikost střížné síly při stříhu s rovnoběžnými noži se vypočítá ze vztahu [7]:

$$F_s = (1,1 \div 1,3) \cdot O \cdot s \cdot \tau_s$$

Kde	s ...tloušťka materiálu	[mm],
	O...střížný obvod	[mm],
	τ_s ...napětí ve smyku, stříhová pevnost - $\tau_s = 0,8 \cdot R_m$	[MPa],
	S...plocha průřezu ve střížné rovině - $S = O \cdot s$	[mm ²].

Pro výpočet střížné síly a práce potom platí analogický vzorec, vztažený na plochu trojúhelníka ve tvaru [7]:

$$F_s = (1,1 \div 1,3) \cdot s \cdot b \cdot \tau_s = (1,1 \div 1,3) \cdot s^2 \cdot \tau_s / \operatorname{tg} \cdot j$$

Kde	s ...tloušťka materiálu	[mm],
	b...délka stříhu – $b = a / \operatorname{tg} \cdot j$	[mm],
	j...úhel stříhu, úhel sklonu nožů	[°],
	τ_s ...napětí ve smyku, stříhová pevnost - $\tau_s = 0,8 \cdot R_m$	[MPa].

2.4 Příklad stříhadla

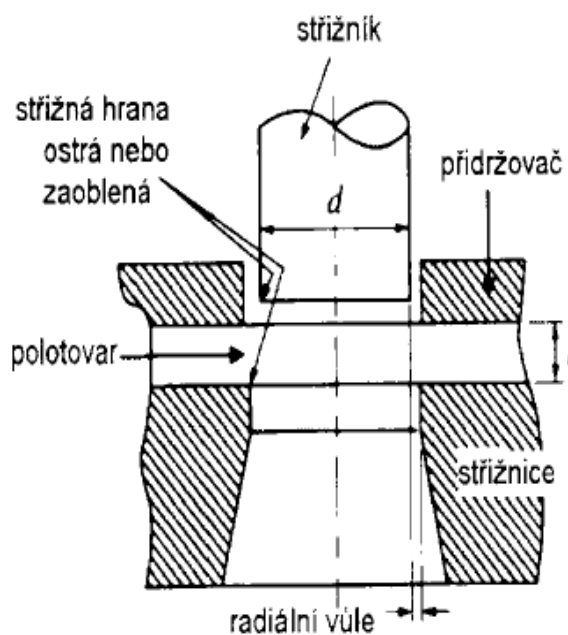
Příklad provedení stříhadla je uveden na obrázku 2.4, kde jsou znázorněny jednotlivé části stroje, které se podílejí na procesu stříhání.

Střižnice

– pro stříhání z materiálu, jsou vyráběny z nástrojových uhlíkových, rychlořezných ocelí.

Střižníky

– jsou funkční části střižného nástroje, základním požadavkem je tuhost střižníků. Vyráběny jsou z nástrojových, uhlíkových, rychlořezných ocelí. Tlakem se namáhají na vzpěry. Střižníky složitějších tvarů se zalévají snadno tavitelnými slitinami, které by měly být co nejkratší, a které musí být vyztužené.



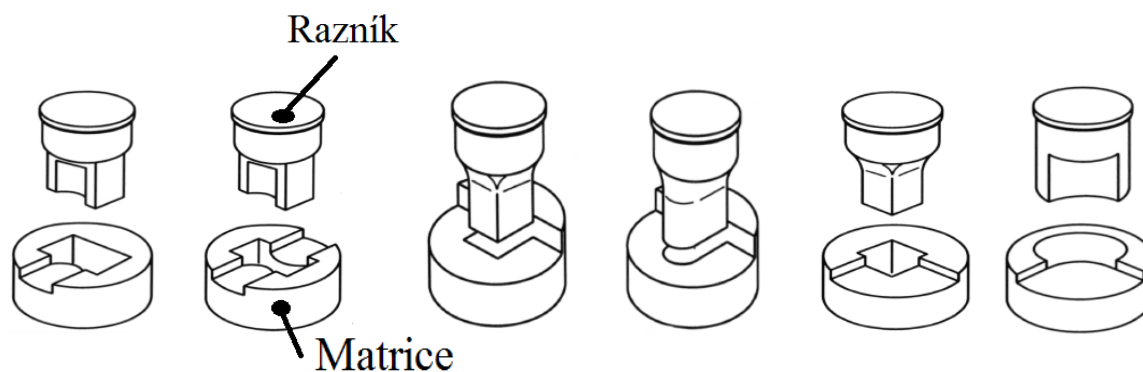
Obr. 2.4 – Jednoduché stříhadlo [8]

Matrice

– forma s negativním tvarem výrobku sloužící k tváření materiálu. Nachází se na spodní části lisovacího nástroje.

Razníky

– nejčastěji slouží k vyříznutí plochy součásti, ale využívají se i pro vytvoření reliéfního obtisku nebo kombinaci obtisku a vyříznutí [8].



Obr. 2.5 – Příklad provedení razníků a matic [9]

3. Možnosti děrování plechů a profilů

3.1 Řezání plechů a profilů laserem

Laserem můžeme řezat plechy, trubky, tvarové profily. Je možné řezat Fe, Al i Fe-Cr materiály. Řezání laserem je velmi výhodné při velké tvarové rozmanitosti výpalků, jako jsou například rotorové plechy elektromotorů, tvarové spojky, děrované plechy a jiné.

Dělení, řezání a pálení materiálu laserem je vysoce produktivní metoda zaručující přesné rozměry a kvalitu řezu. Nahrazuje metody frézování, děrování a vysekávání a umožní přesnou výrobu otvorů. Zpracováním nerezových ocelí Fe-Cr, nebo tepelně zpracovaných ocelí na vyšší pevnost (tvrdost) je metoda řezání laserem téměř jako jediná současně dosažitelná. Pro pálení průníků je bezkonkurenční [10].



Obr. 3.1 – Řezání laserem [10]

Výhody řezáním profilů laserem:

- přesný řez $\pm 0,2\text{mm}$
- libovolné tvarování řezu
- libovolné polohování řezu
- u pálení profilů možnost pálit přes hranu
- vysoký výkon a produktivita

Maximální síla materiálu:

- Fe – 20 mm
- Al – 8 mm
- Fe-Cr – 12 mm

Maximální velikost výrobku:

- Délka řezu 3000 mm
- Max. průměr obrobku 414 mm
- Max. hmotnost obrobku 200 kg



Obr. 3.2 – Ukázky řezání laserem [10]

3.2 Prostřihávací stroje

Děrovací stroje využívají technologii bezdeformačního děrování profilů. Jsou schopny vyděrovat i profily nižší jakosti, tedy s většími výrobními tolerancemi, v dostatečné přesnosti díky systému středění. Systém uchycení obrobku dovoluje prostřihnout otvor do úplného konce profilu, tím je omezena ztráta materiálu. Je možno děrovat jednu stranu nebo skrz dvě strany profilu, volit tvar otvoru. To je dáno nástrojovým vybavením, které lze měnit dle potřeby [5].

3.2.1 Elektromechanický prostřihávací stroj

Elektromechanický prostřihávací stroj s automatickým posuvem pomocí servomotoru a s CNC řízením. Použití pro bezdeformační prostřihování uzavřených profilů variabilního průřezu. Prostřihávání s pravidelnou i nepravidelnou roztečí.

Hlavní rozdíly mezi elektromechanickým a hydraulickým strojem:

1. Ekologičnost stroje – není použit žádný hydraulický olej
2. Příznivější hygiena provozu – tichý stroj
3. Menší provozní náklady – úspora elektrické energie a náhradních dílů



Obr. 3.3 – Prostřihovací stroj se servoposunem od firmy Inteso [5]

Základní popis:

Stroj pracuje s velmi vysokou přesností o maximálním výkonu 75 zdvihů / min. Obsluha si prostřihovací plán programuje přímo na ovládacím panelu, celý technologický proces je automatizován. Velká výhoda spočívá v jednoduché modifikaci jednotlivých programů. Stroj je opatřen vlastní elektronickou kontrolou délky vstupních profilů. Je možné děrovat také otevřené profily. Tento model je vhodný pro velkosériovou a hromadnou výrobu [5].

Technická data:

- Maximální délka prostřihovaného profilu:	4000 mm
- Maximální průřez prostřihovaného profilu:	120 x 80 mm, \varnothing 80 mm
- Maximální prostřihovací síla:	150 kN
- Kapacita:	max. 75 zdvihů / min.
- Přesnost prostřihávání:	+ 0,4 mm / 4000 mm

3.2.2 Hydraulický prostřihávací stroj

Hydraulický prostřihovací stroj je vybaven CNC řízením. Použití pro bezdeformační děrování uzavřených profilů variabilního průřezu o délce do 7000 mm. Dokáže pracovat i s profily nižší jakosti. Stroj pracuje s velmi vysokou přesností, řízení technologického procesu je provedeno v automatickém režimu. V případě poruchy stroj generuje hlášení poruchy přímo na displeji. Model je zejména vhodný pro dlouhé a těžší profily při velkosériové a hromadné výrobě [5].



Obr. 3.4 – Hydraulický prostřihovací stroj [5]

Technická data:

- Maximální délka prostřihovaného profilu:	4000 mm
- Maximální průřez prostřihovaného profilu:	120 x 80 mm, \varnothing 80 mm
- Maximální prostřihovací síla:	150 kN
- Kapacita:	max. 75 zdvihů / min.
- Přesnost prostřihávání:	+ 0,4 mm / 4000 mm

Tyto hydraulické stroje jsou vybaveny CNC řízením. CNC systém umožňuje naprogramovat požadované rozteče děr. Samotný stříh je vykonán pomocí hydraulické soustavy. Posun materiálu je realizovaný lineárními motory a servomotory. Vyrábějí se také prostřihávací stroje s ručním posuvem a manuálním ovládáním pro menší investice [5].

3.2.3 Vybavení hydraulického prostřihovacího stroje

Umožňuje lineární odměřování stříhu osy, je numericky řízen pro bezdeformační prostřihování uzavřených profilů. Vhodný pro velké objemy, velký počet otvorů a pro různé rozteče. Tolerance rozteče dvou sousedních otvorů je do 0,1 mm. Stroj je vybaven rozpínacím hydraulickým adaptérem a centrováním profilu před každým úderem, to má za následek minimální deformaci profilu a umožnění snadného posuvu. Lze děrovat i skrz obě stěny profilu na jeden zdvih hydraulického válce. Pokud je stroj vybaven odměřováním na válci, systém řízení umožňuje softwarové korekce rychlosti a síly v průběhu celého stříhu v polohové vazbě k výšce profilu a tloušťkám stěn [11].



Obr. 3.5 – Prostřihovací stroj firmy Elvac Automation [11]

Standardní vybavení:

- ✓ Ocelový rám s lineárním kuličkovým vedením
- ✓ Speciální prostřihovací jednotka s automatickým centrováním prostřihávaného profilu a centrováním matrice vůči razníku
- ✓ Hydraulický rozpínací adaptér s vyměnitelnou matricí a možností korekcí rozměrových tolerancí profilů
- ✓ Výkonný a tichý hydroagregát s kompletním elektroovládáním
- ✓ Hydraulicky výškově stavitelný válečkový dopravník
- ✓ Posuv profilu pomocí rotačního elektromotoru a ozubeného řemenu nebo pomocí lineárního motoru
- ✓ Programovatelný řídicí systém

- ✓ Řídicí panel s kontrolní obrazovkou a klávesami
- ✓ Přesné vodorovné polohování profilu s lineárním odměřováním hlavní osy
- ✓ Lineární svislé odměřování zdvihu hydraulického válce osy stříhu
- ✓ Upínání profilu pomocí hydraulicky ovládaných kleští
- ✓ Optické laserové senzory pro automatickou kontrolu správné délky děrovaných profilů
- ✓ Modulární systém: možnost prostřihávání otevřených profilů
- ✓ Rychlá výměna nástrojového vybavení pro prostřihávání profilů s jiným průřezem či jiného otvoru

Volitelné vybavení:

- ✓ Automatické tlakové mazání děrovaných profilů mikrodávkováním emulze jen do místa stříhu
- ✓ Pneumatické odvádění odpadu mimo matrici
- ✓ Pneumatické čištění funkční oblasti ve střížné jednotce
- ✓ Možnost provádění různého stříhu ze dvou až čtyř stran profilů
- ✓ Možnost úhlového polohování pro profily s rotačním kruhovým průřezem (ruční nebo programovatelné)
- ✓ Programovatelné nahřívání olejového média s časovým spouštěním
- ✓ Programovatelné řízení polohy a délkového rozměru prostřihávaného otvoru
- ✓ Automatizované zakládání a vyjímání profilů
- ✓ Ocelový odpadový box na pojízdném podvozku, nosnost 250 kg

3.2.4 Další hydraulické stroje na děrování profilů

Základní typy a popis jednotlivých strojů firmy Elvac Automation [11]:

Typ – HPM-M

Hydraulický prostřihávací stroj s manuálním posuvem.

Využití:

Vhodný pro větší sérii profilů, které mají mnoho otvorů stejných velikostí. Umožňuje měnit rozteče otvorů pod podmínkou, že bude pozice otvoru stejná pro celý

profil. Snížená deformace profilu na minimum je zajištěna použitím rozpínacího adaptéru a jednotkou pro středění profilu před každým zdvihem. Tím je zajištěn snadný posuv a požadovaná kvalita děrování.



Obr. 3.6 – Prostřihávací stroj s manuálním posuvem [11]

Posuv je zajištěn manuálně po lineárním vedení, pomocí ovládacího kola a ozubeného řemenu. Upnutí profilu je zajištěno pomocí upínacích kleští s excentrem.

Typ – HPMR-A

Hydraulický prostřihávací stroj s ozubeným řemenem a servomotorem - CNC Automat.

Využití:

Jako **HPM-M**, navíc má začlenění programovatelného automatického posuvu a umožňuje programovat rozteče otvorů. Upínání je hydraulické pomocí kleští a celý cyklus prostřihování je automatický. Posuv profilu je automatický, poháněný ozubeným řemenem a servomotorem.



Obr. 3.7 – Prostřihávací stroj s ozubeným hřebenem a servomotorem [11]

Typ – HPML-A-1

Hydraulický prostřihávací stroj s lineárním elektromotorem - CNC Automat.

Využití:

Jako HPMR-A, s velmi dobrými parametry lineárního elektromotoru. Robustní konstrukce stroje s nastavováním úderu lisu na řídicím panelu. Výhodou je velmi efektivní, dlouhodobě přesné, bezotřepové a bezúdržbové zařízení. Obsahují řídicí panel pro ukládání programů a optické senzory pro kontrolu délek profilů a začátku prostřihávání.

Hlavní výhody **strojů řady HPML-A**:

- ✓ Posuv pomocí lineárního elektromotoru – zajišťuje velmi dobré vlastnosti, jako jsou tažná síla, vysoká akcelerace, rychlost a přesnost zastavení, bez opotřebovávání a otřepů na částech posuvného systému, minimalizuje údržbu
- ✓ Lineární odměřování zajišťuje přesnou pozici otvorů
- ✓ Lineární odměřování pro pozici úderu prostřihávacího válce (děrovadla) – horní a dolní úvrat' je nastavitelná na řídicím panelu
- ✓ Kontrola délky prostřihávaného profilu
- ✓ Stroj má dvě nezávislé prostřihávací osy, každá z nich je s vlastním nezávislým hydraulickým okruhem – to umožňuje pracovat s oběma najednou
- ✓ Umožňuje děrovat první a poslední otvor korektně i v koncích profilu
- ✓ Rychlá výměna nástrojů
- ✓ Všechny funkce jsou jištěné kontrolními senzory

Typ HPLM-A-2

Dvouosý hydraulický prostřihávací stroj s lineárním elektromotorem - CNC Automat.

Využití:

Jako **HPLM-A**, plus vyšší výkonnost díky dvěma osám pro děrování dvou profilů najednou. Dvě prostřihávací jednotky s automatickým středěním profilu před každým zdvihem stroje a s vlastním nezávislým hydraulickým okruhem.



Obr. 3.8 – Hydraulický prostřihávací stroj Typu HPLM [11]

Typ HPLM-A-1 T

Hydraulický prostřihávací stroj s lineárním elektromotorem - CNC Automat s děrováním skrz 2 stěny profilu najednou.

Využití:

Vyšší výkonnost díky funkci děrování skrz dvě stěny profilu najednou, v jednom cyklu. Zařízení je vhodné pro velké série profilů s vyšším počtem otvorů stejných velikostí. Rozteče otvorů mohou být různé, i pozice otvoru mohou být různé pro celý profil. Tolerance pro rozteče otvorů je do 0,2 mm, a tolerance pro vzdálenost mezi prvním a posledním otvorem je 0,5 mm.

Typ HPLM-A-2 T

Dvouosý hydraulický prostřihávací stroj s lineárním elektromotorem - CNC Automat s děrováním skrz 2 stěny profilu najednou.

Využití:

Jako **HPLM-A-1 T**, plus vyšší výkonnost díky dvěma osám pro děrování dvou profilů najednou.

Základní technické parametry dodávaných strojů:

Střížná síla	10 t – 17 t (100 kN – 170 kN)
Max. tloušťka materiálu	10 mm
Max. průměr otvoru	38 mm
Max. délka profilu	6.000 mm – pro speciální řešení i 12.000 mm
Max. rychlost průstřihu	0,9 – 1,3 sekund / otvor
Tolerance sousedních otvorů	+/- 0,2 mm

3.2.5 Vysekávací stroje s profilovými nůžkami

Děrování profilů lze také na hydraulických nůžkách. Jedná se o univerzální hydraulické nůžky určené na děrování (vysekávání), stříhání pásoviny, profilů a kruhové i čtvercové ocele. Stroje mohou mít jeden nebo dva nezávislé hydraulické válce, což umožňuje pracovat na dvou stanovištích současně. Stroje poskytují obrovskou variabilitu plechotvářecích operací a vyznačují se mimořádnou spolehlivostí při dlouhodobém užívání [12].



Obr. 3.9 – Hydraulické nůžky [12]

4. Možnosti provedení hydraulického obvodu prostřihávacího stroje

Pro stříhání je použit hydraulický válec s průběžnou pístnicí, kdy jedna strana pístnice je malého průměru a slouží k uchycení signalizačních prvků a koncových spínačů. Válec může být řízen několika způsoby zapojení obvodu. Hydraulický obvod musí zajišťovat rychlý pohyb válce dolů k samotnému prostřihování a zpět nahoru do výchozí polohy. Prostřihovat je možno přes jednu stěnu profilu nebo přes obě stěny profilu najednou. Pokud budeme prostřihovat přes jednu stěnu, tak po prostřihnutí stěny dojde k zastavení válce a návratu do výchozí polohy. Pak teprve dojde k posunu profilu o další rozteč. Stříhání přes dvě stěny způsobí, že vzniknou dvě tlakové špičky. K tomuto je potřeba navrhnout vhodný výkon.

Druhou činností obvodu je seřizování. Pístnice válce s razníkem se pomalu přiblíží k povrchu stěny profilu, oddálí a poté se pokusí profil rychle prostřihnout. Této operaci se říká **typování**. Je to speciální funkce, při které se nastavuje stříhadlo. Hydraulický obvod tedy bude plnit dvě činnosti, děrování a typování. Tomuto je třeba navrhnout vhodné zapojení obvodu.

Pro správné prostřihování je potřeba zajistit také pomocné funkce, jako je ustavení profilu, popřípadě středění. Tyto pomocné funkce realizuje několik hydraulických válců, které jsou ovládány nezávisle na sobě.

4.1 Hydraulický obvod s řízením hlavního válce jedním obvodem

Hydraulický obvod je sestaven s typizovaných sériově vyráběných hydraulických prvků zobrazených na obr. 4.1. Hydraulické pohony zabezpečují tyto funkce: posouvání jednotlivých částí stroje a hlavní lisování.

Zdroj tlakové energie tvoří hlavní dvojité hydrogenerátor. Oba dva hydrogenerátory jsou odlehčeny. Větší z hydrogenerátorů je odlehčený přes otevřený střed rozváděče, menší hydrogenerátor má odlehčení provedené pomocí speciálního ventilu. Ten je tvořen odlehčovacím rozváděčem a nepřímým řízeným přepouštěcím ventilem.

Zdrojem hlavního tlaku pohonu stříhadla je hlavní hydrogenerátor. Oba hydrogenerátory pracují současně, pokud probíhá stříhání skrz obě stěny profilu. Pokud je profil prostřiháván jen z jedné strany, pracuje pouze větší hydrogenerátor a menší je odlehčen. Hydrogenerátory jsou proti tlaku chráněny zpětnými ventily.

Hlavní hydraulický válec s průběžnou pístnicí je řízen třípolohovým rozváděčem s otevřeným středem, který umožňuje jeho vysouvání a zasouvání. Tímto obvodem je realizovaná funkce stříhání. Není možno pomalé přiblížení pístnice ke stěně profilu.

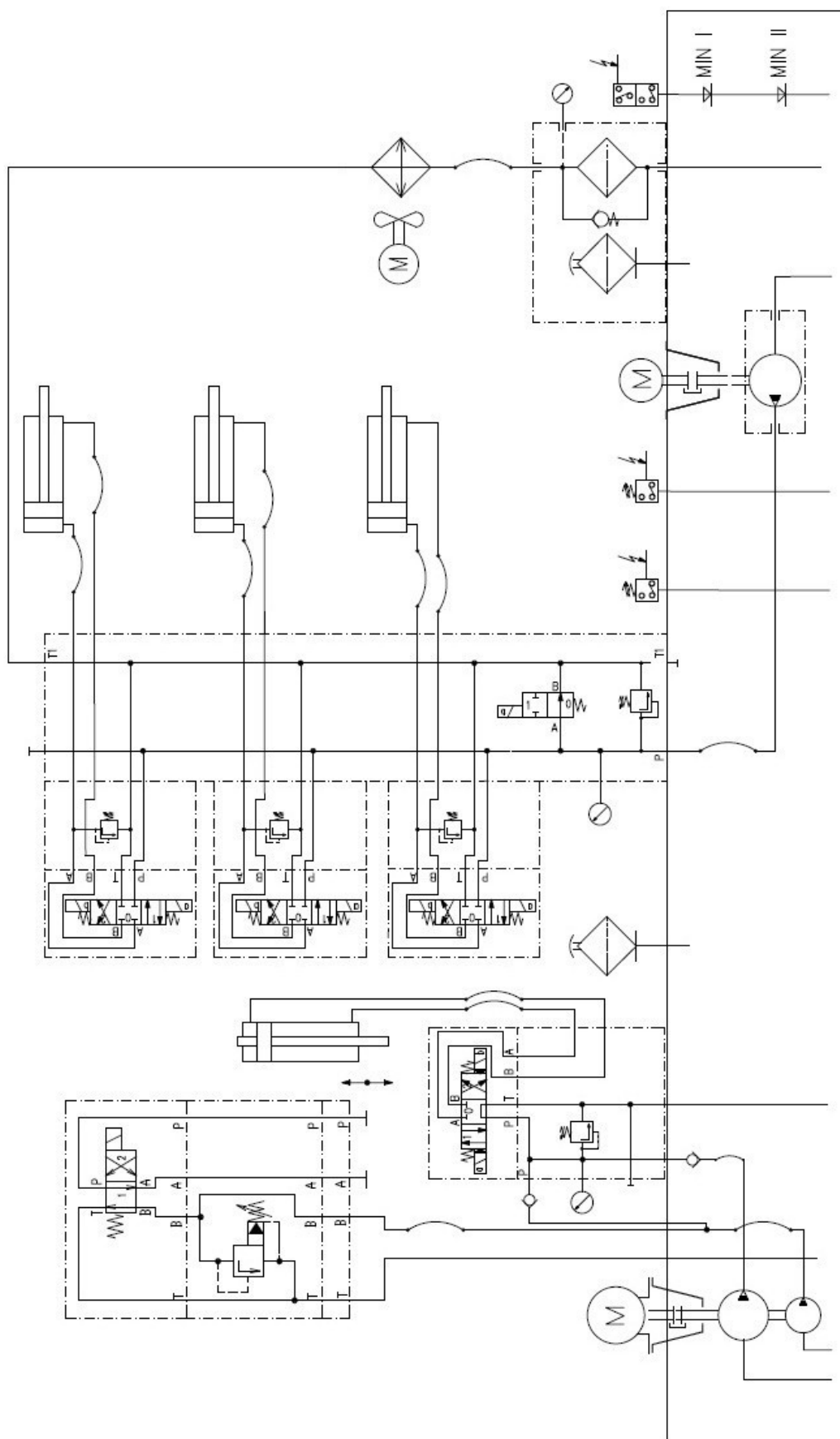
Další částí obvodu je zabezpečení pomocných funkcí. Je to základní funkce a realizují ho tři hydraulické válce, které jsou ovládány nezávisle pomocí rozváděčů s uzavřenými středy, řízené elektromagnety a jsou doplněny o pojistné ventily. Pro pohon pomocných pohonů stříhadla slouží samostatný hydrogenerátor. Napájí 3 sekce ventilů a v odlehčeném stavu současně slouží jako obvod pro filtraci a chlazení. Odlehčení je provedeno pomocí elektricky ovládaného ventilu. Pro přestavení jakéhokoliv rozváděče je potřeba přivést na cívku tohoto ventilu elektrický proud. Kapalina prochází zpětnou větví přes vzduchový chladič s vlastním elektromotorem a odpadní filtr zpět do nádrže.

Výhody:

- Hlavní válec je řízen pouze jedním rozváděčem
- Při stříhání jedné stěny profilu pracuje pouze jeden hydrogenerátor
- Samostatný obvod filtrace a chlazení

Nevýhody:

- Není zde realizována funkce typování



Obr. 4.1 – Hydraulický obvod s řízením hydraulického válce jedním obvodem [13]

4.2 Hydraulický obvod s řízením hlavního válce dvěma obvody

Hydraulický obvod zobrazený na obr. 4.2 umožňuje provádět stříhání a typování pomocí druhého obvodu, kde je rychlost vysouvání a zasouvání řízena škrtícími ventily.

Zdrojem tlakové energie je opět dvojitý hydrogenerátor. Odlehčení menšího hydrogenerátoru je provedeno pomocí speciálního ventilu, který je sestaven z odlehčovacího rozváděče a z nepřímo řízeného přepouštěcího ventilu. Pokud chceme mít hydrogenerátor v provozu, je třeba přivést na cívku elektrický proud a přestavit tak rozváděč. Větší hydrogenerátor je odlehčený přes otevřený střed rozváděče.

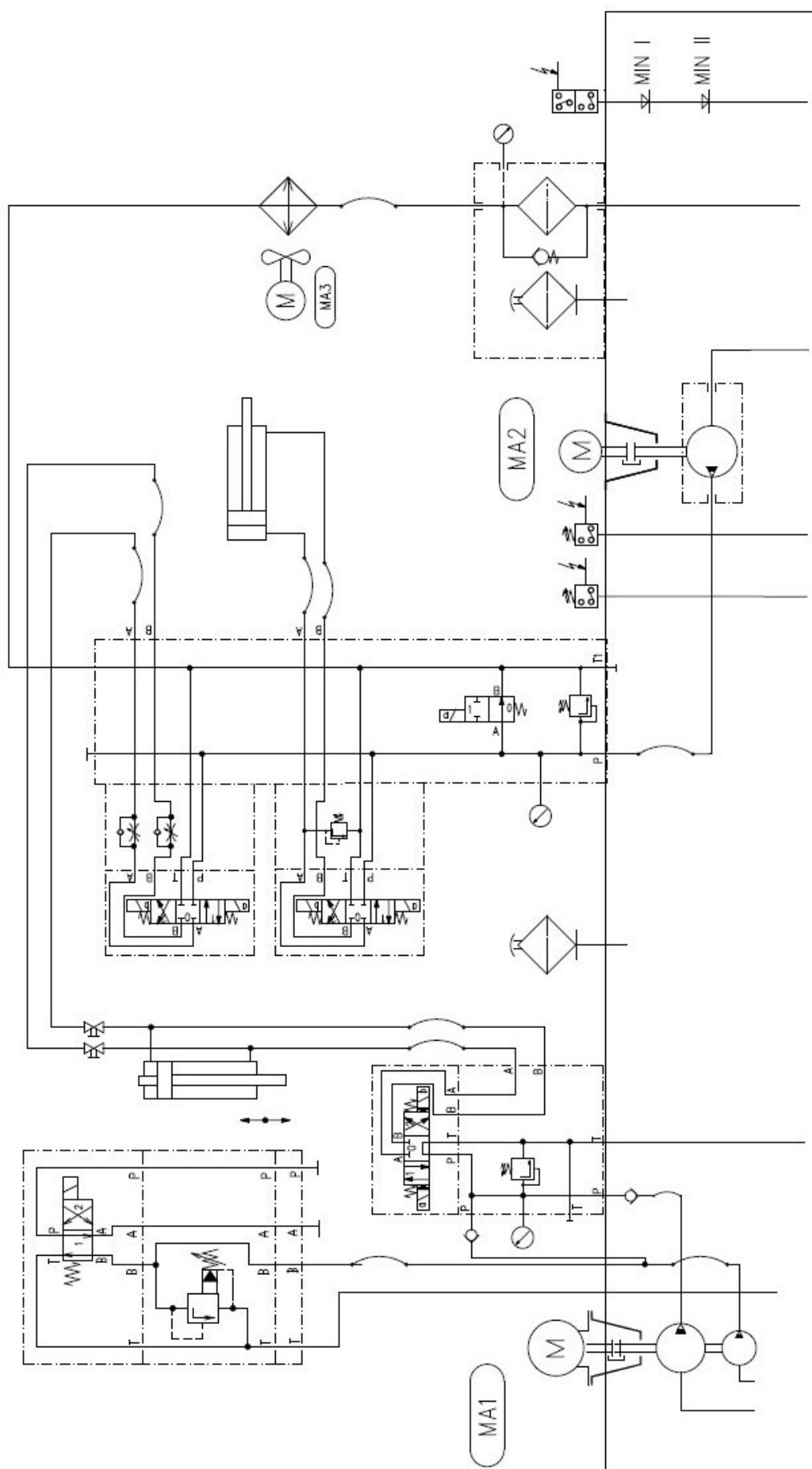
Hlavní hydrogenerátor je zdrojem tlaku pro pohon stříhadla. Pokud je prostřihována pouze jedna strana profilu, je v činnosti jen větší hydrogenerátor. V případě stříhání profilu skrz obě stěny, je zapotřebí spustit i druhý hydrogenerátor, aby pracovaly současně.

Hydraulický válec je řízen třípolohovým rozváděčem s otevřeným středem. Realizuje se tak funkce stříhání. Funkce typování je realizována druhým obvodem, pomocí samostatného hydrogenerátoru. Tento hydrogenerátor slouží pro pomocné funkce a pro typování. Pokud dojde k otevření kulových ventilů a bude vypnutý hlavní hydrogenerátor, můžeme válec řídit pomocí druhého rozváděče s otevřeným středem. Rychlost vysouvání a zasouvání válce je zabezpečena škrtícími ventily.

Pomocná funkce je realizovaná jedním hydraulickým válcem, ovládaným nezávisle třípolohovým rozváděčem. Zdrojem tlaku je samostatný hydrogenerátor, který v odlehčeném stavu slouží jako obvod pro filtraci a chlazení. K odlehčení je použit elektricky ovládaný ventil, na který je třeba přivést napětí, pokud chceme přestavit jeden z rozváděčů.

Výhody:

- Typování je možno provést druhým obvodem, který je řízen škrtícími ventily
- Při stříhání jedné stěny profilu pracuje pouze jeden hydrogenerátor
- Samostatný obvod filtrace a chlazení



Obr. 4.2 – Hydraulický obvod s řízením hlavního válce dvěma obvody [13]

4.3 Hydraulický obvod s proporcionálním rozváděčem

Další možností řízení hlavního válce stříhadla je použití proporcionálního rozváděče, jak je uvedeno na Obr. 4.3. Hydraulickým pohonem jsou na stroji realizované funkce stříhání, typování a pomocné funkce.

Pro pohon stříhadla stroje je zdrojem hlavního tlaku hlavní hydrogenerátor. Hydrogenerátor má odlehčení pomocí odlehčovacího ventilu ovládaného elektromagnetem. Hlavní hydraulický válec je řízen proporcionálním ventilem. Proporcionální ventil má střední polohu uzavřenou. Tento obvod zabezpečuje funkci stříhání i typování. Je zde použit pouze jeden hlavní hydrogenerátor jak pro stříhání jedné stěny profilu, tak i pro stříhání skrz obě stěny.

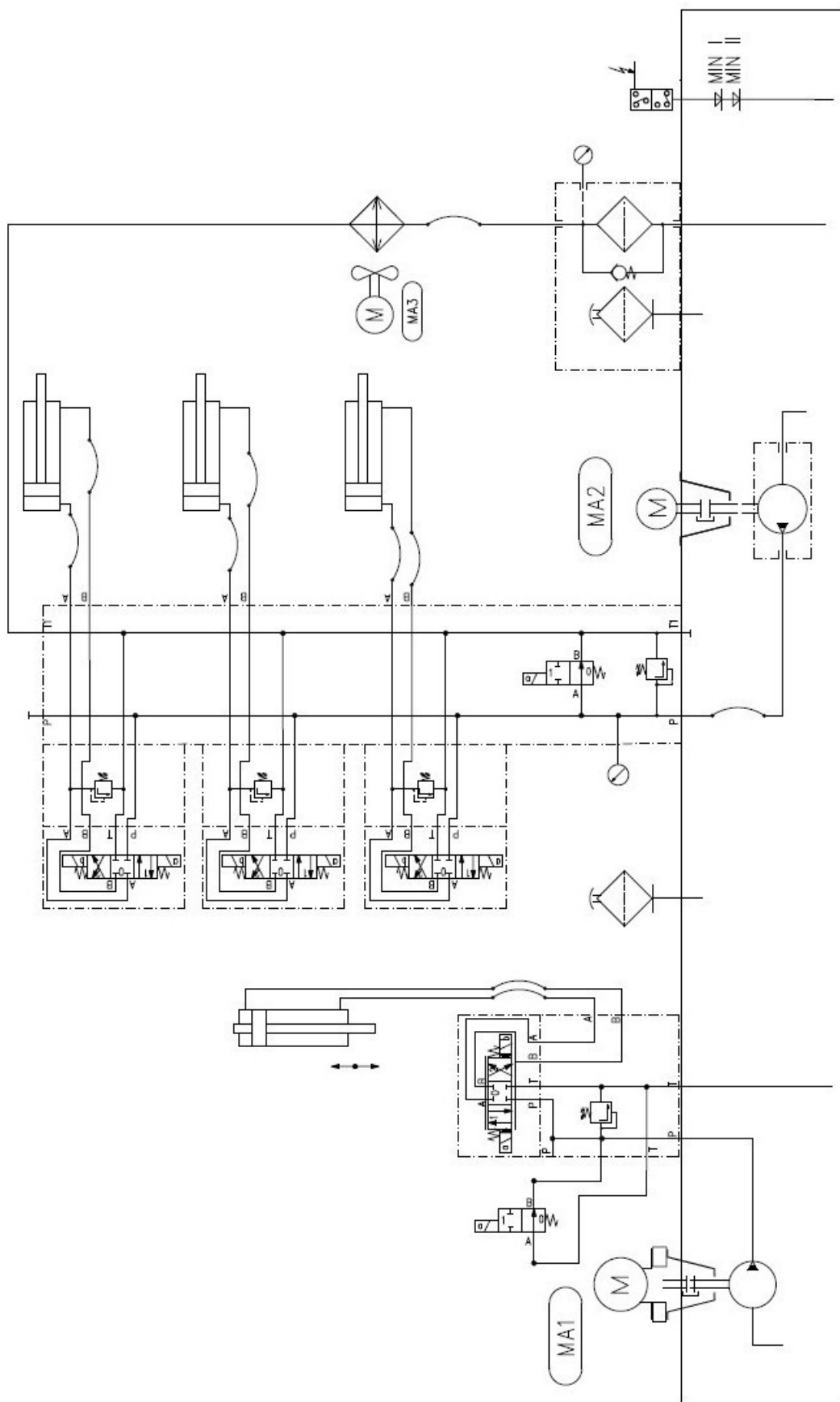
Pomocné funkce jsou realizovány samostatným obvodem se třemi hydraulickými válci. Zdroj tlaku tvoří menší hydrogenerátor, který je elektricky odlehčen. Ten napájí 3 sekce ventilů a současně slouží v odlehčeném stavu jako obvod filtrace a chlazení. Kapalina prochází zpětnou větví přes vzduchový chladič s vlastním pohonem ventilátoru a přes odpadní filtr. Součástí filtrace je i vzduchový filtr na víku nádrže. Sekce pomocných ventilů jsou tvořeny rozváděči s uzavřenými středy a pojistnými ventily.

Výhody:

- Použití proporcionálního rozváděče, plynulé řízení průtoku a rychlosti
- Dojetí pístnice na požadovanou polohu
- Samostatný obvod filtrace a chlazení
- Použití jednoho hydrogenerátoru pro stříhání jednostranné či oboustranné

Nevýhody:

- Stále pracuje čerpadlo o velkém průtoku, i když se stříhá pouze přes jednu stěnu



Obr. 4.3 – Hydraulický obvod s proporcionálním rozváděčem [13]

4.4 Hydraulický obvod s proporcionálním rozváděčem a akumulátorem

Pomocí malého akumulátoru lze hydraulický systém vylepšit. Akumulátor zajistí, že po přestavení rychlého proporcionálního rozváděče bude k dispozici požadovaný tlak, než stihne zareagovat regulační hydrogenerátor. Regulační hydrogenerátor je použit z důvodu, že není k dispozici otevřený střed proporcionálního rozváděče a plní tak funkci odlehčení. Obvod je na obr. 4.4. Je potřeba zajistit kvalitní koncové spínače.

Zdrojem hlavní tlakové energie je regulační hydrogenerátor, který dodává přes proporcionální rozváděč tlak do hydraulického válce. Zároveň také doplňuje akumulátor na nastavený tlak. Součástí akumulátoru je obvod s pojistným ventilem a s ventilem pro vyprazdňování, který je ovládaný pákou.

Řízení hydraulického válce je zabezpečeno proporcionálním rozváděčem, který umožňuje plynulé přestavování. Zpětná větev obvodu je vedena přes vzduchový chladič a odpadní filtr zpět do nádrže. Chladič má vlastní elektromotor pro pohon ventilátoru, který je spínán dle potřeby.

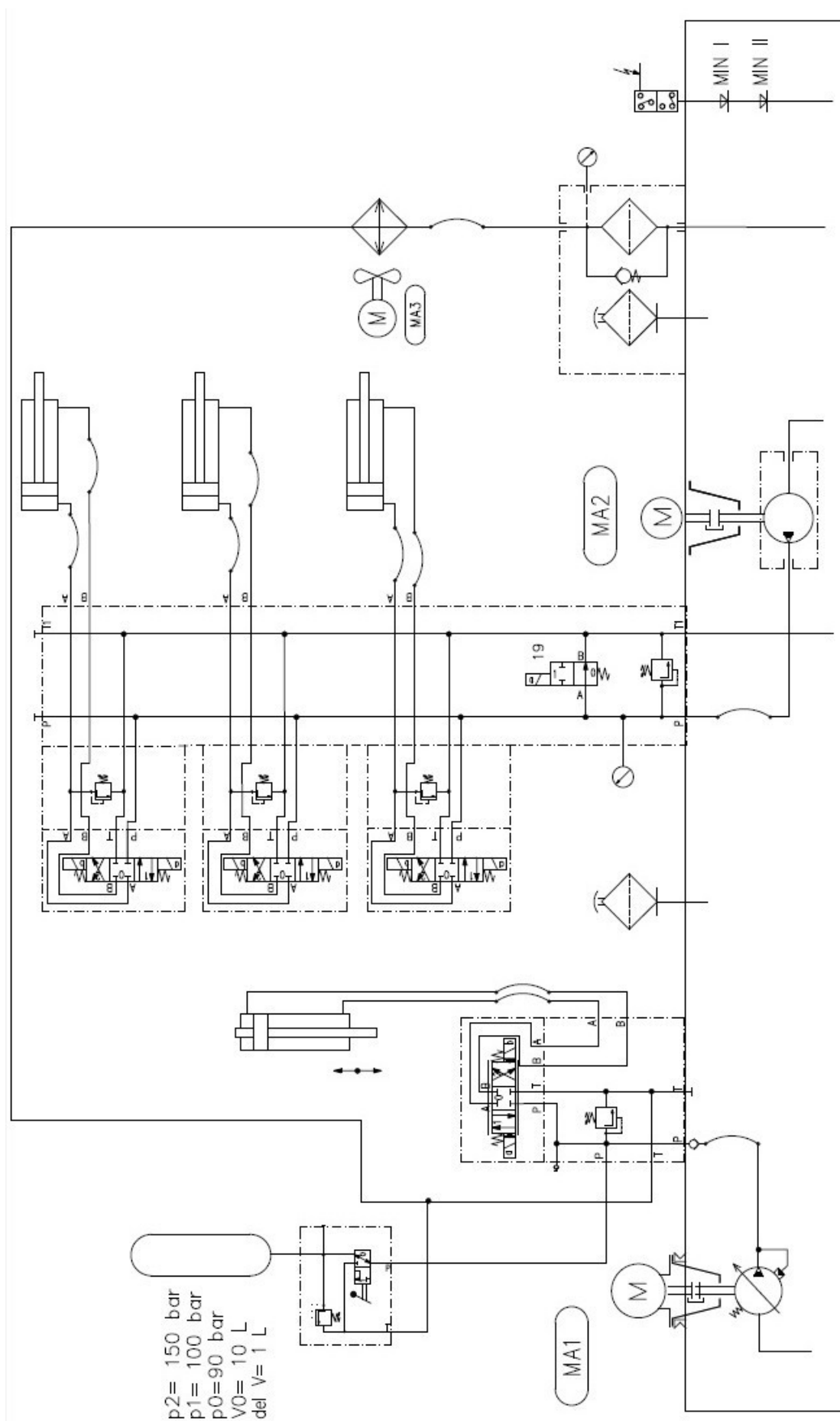
Pomocné funkce jsou realizovány třemi hydraulickými válci. Ty jsou nezávisle na sobě ovládány elektricky řízenými rozváděči. Každý válec má pojistný ventil. Zdroj tlaku tvoří menší hydrogenerátor, který je elektricky odlehčen. Pro ovládání kteréhokoliv rozváděče je potřeba přivést elektrický proud na elektromagnet odlehčovacího ventilu.

Výhody:

- Použití proporcionálního rozváděče, plynulé řízení průtoku a rychlosti
- Dojetí pístnice na požadovanou polohu
- Použití regulačního hydrogenerátoru, odpadá řešení odlehčení obvodu
- Použití malého akumulátoru, rychlé dodání potřebného průtoku

Nevýhody:

- Obvod filtrace a chlazení je veden ve zpětné větvi od hlavního válce, to způsobuje pulzaci na filtru



Obr. 4.4 – Hydraulický agregát s proporcionálním rozváděčem a akumulátorem [13]

5. Volba hydraulického obvodu stříhadla profilů

Pro realizaci hydraulického agregátu volím obvod, který je zobrazen na obr. 4.2. Kdy řízení hlavního válce bude provedeno pomocí elektricky ovládaného rozváděče s otevřeným středem. Zdrojem hlavní tlakové energie bude dvojitý hydrogenerátor. Větší z hydrogenerátorů bude ve funkci při stříhání profilu přes jednu stěnu. Pokud se bude stříhat skrz obě stěny profilu, bude připojen i menší hydrogenerátor, budou tedy ve funkci oba současně. Tímto bude realizována hlavní funkce stříhání.

Druhou funkcí je typování. Typování bude zajišťovat druhý samostatný obvod, ovšem pomocí hlavního válce. Pokud budeme chtít typovat, je nutné otevřít sedlové ventily a odlehčit nebo odstavit hlavní hydrogenerátor. Obvod bude mít vlastní menší hydrogenerátor a řízení dojezdu pístnice bude regulováno škrtkovými ventily. Řízení pohybu válce bude zajišťovat třípolohový rozváděč ovládaný elektromagnety. Odlehčení obvodu bude provedeno elektricky.

Třetí funkcí je přidržení profilu. Přidržení bude zajišťovat samostatný hydraulický válec, který bude poháněn ze stejného obvodu jako pro funkci typování. Přidržení bude nezávislé na typování použitím druhého rozváděče a pojistného ventilu.

Pokud bude tento druhý obvod odlehčený, bude kapalina procházet přes chladič a filtr zpět do nádrže. Tímto bude zajištěno chlazení a filtrace. Chladič bude vzduchový a ventilátor bude pohánět samostatný elektromotor, který bude spínán dle potřeby. Teplota bude hlídána pomocí dvou termostatů. Součástí filtrace je i vzduchový filtr zabudovaný na víku nádrže. Hydraulický agregát bude také vybaven čidlem hlídající množství kapaliny v nádrži a dále manometry pro kontrolu tlaků v obvodu. Hydrogenerátory budou poháněny pomocí elektromotorů.

6. Hydraulické a tepelné výpočty vybraného řešení stříhadla

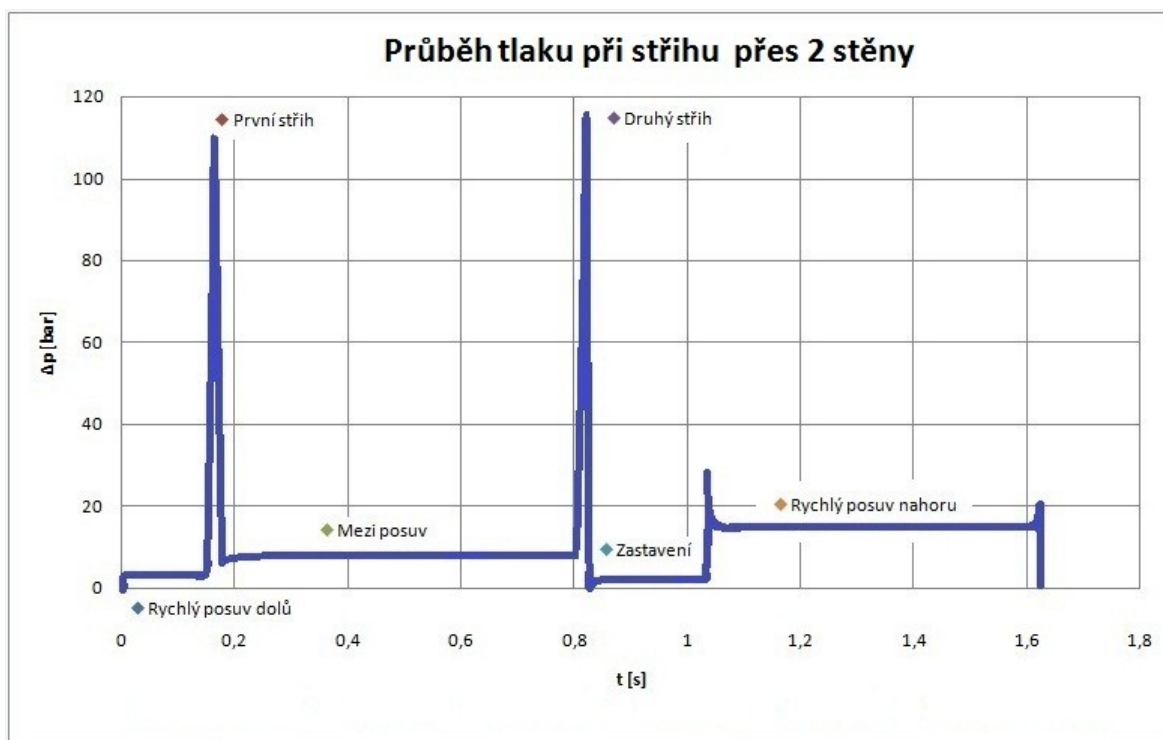
Profil je vyroben z konstrukční oceli 11 343 nebo 11 373, která je vhodná ke svařování. Mez pevnosti se pohybuje v rozmezí 340 až 420 MPa. Pro výpočet budu uvažovat nejvyšší hodnotu, tedy 420 MPa. Rozměr profilu je 70 x 70 mm. Tloušťka stěny profilu je maximálně 3 mm a průměr děrovaného otvoru 20 mm.

Při děrování profilu budu předpokládat průběh tlaku působící na píst hydraulického válce. Tento tlak se bude měnit s polohou pístu a s vykonávanou operací stříhu jak je uvedeno na grafu 6.1. Vycházím z naměřených hodnot, které provedla firma Interfluid a tento graf je také obsažen v příloze.

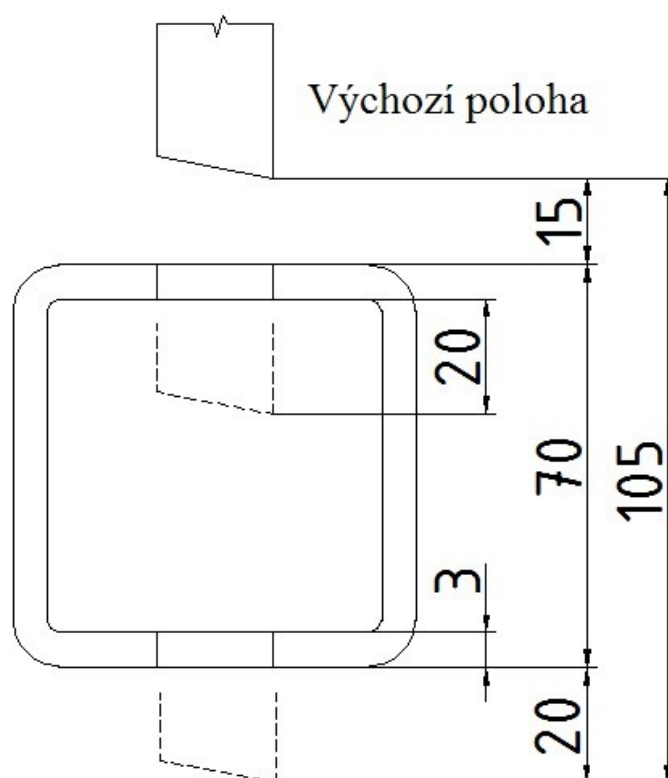
Dále je potřeba znát zdvih válce. Zdvih bude jiný pro stříh přes jednu stěnu a pro stříh přes obě stěny. Rozvržení zdvihu je uvedeno na obr. 6.2, kde jsou rozvrženy jednotlivé operace. Doba pohybu válce by neměla přesáhnout 2 s. Předpokládá se, že doba pohybu válce dolů je asi $\frac{2}{3}$ z celkové doby a doba pohybu válce zpět nahoru je pak $\frac{1}{3}$ z celkové doby.

6.1 Průběhy tlaků a zdvih hydraulického válce

V grafu 6.1 uvádím předpokládaný průběh tlaku při děrování profilu. Průběh je rozdělen na jednotlivé doby pohybu válce. První doba je posuv válce z nulové polohy po horní stěnu profilu. Tato vzdálenost činí 15 mm, kdy by měl válec dosáhnout již konstantní rychlosti a tlak se pohybuje okolo 3 barů. Ve druhé době nastává stříh přes první stěnu. Tloušťka stěny je 3 mm a tlak zde narůstá až na hodnotu 110 barů. Jakmile dojde k prostříhu stěny, tlak rychle poklesne. Nastává třetí doba pohybu, což je posuv mezi první a druhou stěnou. Tato vzdálenost je 64 mm a tlak se pohybuje okolo 8 barů. Poté nastává čtvrtá doba, což je druhý stříh. Zde nastane druhá tlaková špička, kdy tlak naroste až na 115 barů. Po prostříhnutí opět klesne a válec ještě vyjíždí 20 mm, aby došlo k úplnému oddělení materiálu. Pak dochází k zastavení válce a zpětnému pohybu. Zpětný pohyb trvá 0,6 s a tlak se pohybuje okolo 15 barů. Pracovní zdvih válce je tedy 105 mm, jak je znázorněno na obrázku 6.2. Velikost válce ale volím 115 mm, kdy nechávám 5 mm na každé straně válce, aby píst nedojížděl až na samé víko a nedocházelo tak prudkému nárazu při zastavení.



Obr. 6.1 – Průběh tlaků při stříhání skrz 2 stěny profilu



Obr. 6.2 – Znázornění a rozvržení zdvihu válce

V následující tabulce uvádím jednotlivé doby pracovních operací, které byly spočítány z navrhovaného zdvihu a z rychlosti pohybu válce, jak bude uvedeno v kapitole 6.2.

Tabulka 6.1

Probíhající operace	Zdvih válce - h [mm]	Doba trvání - t [s]
rychlý posuv dolů	15	0,147
první stříh	18	0,177
meziposuv	82	0,805
druhý stříh	85	0,834
zastavení	105	1,031
rychlý posuv nahoru	105	0,589
celková doba stříhu	-	1,620

6.2 Střížná síla a rozměry válce

Parametry ze kterých vycházím:

Stříhaný materiál	R _m [MPa]	Tloušťka stěny - s	3	mm
Ocel 11 343 - 11 373	340 – 420	Průměr otvoru - d	20	mm

Střížná síla se vypočítá ze vztahu:

$$F_s = (1,1 - 1,3) \cdot o \cdot s \cdot \tau_s \quad (6.1)$$

s ...tloušťka stěny[mm]

o ...střížný obvod[mm]

τ_s ...střížná pevnost[MPa]

$$o = \pi \cdot d = \pi \cdot 20 = 62,8 \text{ mm} \quad (6.2)$$

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 420 = 336 \text{ MPa} \quad (6.3)$$

$$F_s = 1,3 \cdot o \cdot s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 62,8 \cdot 3 \cdot 336 = \mathbf{82\,293\,N} \quad (6.4)$$

Střížnou sílu volím $F_s = 100\,000\,N$ s rezervou 20 %.

Počítám v podstatě s nejhorším případem stříhu, když je například tupý nástroj. Z tohoto důvodu vyšla síla takhle vysoká. Ve skutečnosti předpokládám sílu nižší pro ostrý nástroj a správný úhel stříhu.

Výpočet rozměru válce

- Volím pracovní tlak 16 MPa
- Pracovní zdvih válce - $h = 105 \text{ mm} = 0,105 \text{ m}$
- Volím průměr horní pístnice $d_h = 15 \text{ mm} = 0,015 \text{ m}$

Průměr válce vypočítáme ze vztahu:

$$\Delta p = \frac{F}{S} \Rightarrow F = \Delta p \cdot S = \Delta p \cdot \frac{\pi \cdot (D^2 - d_h^2)}{4} \quad (6.5)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot p} + d_h^2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 100\,000}{\pi \cdot 16 \cdot 10^6} + 0,015^2} = 0,0904 \text{ m} = 90,4 \text{ mm} \quad (6.6)$$

Volím tedy průměr pístu válce **$D = 90 \text{ mm}$** .

6.3 Výpočet potřebného průtoku, doby vysouvání a rychlosti

Objem válce na horní straně

$$V_h = S_h \cdot h = \frac{\pi \cdot (D^2 - d_h^2)}{4} \cdot h = \frac{\pi \cdot (0,09^2 - 0,015^2)}{4} \cdot 0,105 = 6,49 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \quad (6.7)$$

Volím dobu vysouvání válce $t_1 = 1 \text{ s}$

Potřebný průtok vypočítám ze vztahu:

$$Q = \frac{V_h}{t_1} = \frac{6,49 \cdot 10^{-4}}{1} = 6,49 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 38,94 \text{ dm}^3/\text{min} \quad (6.8)$$

Volím dvojitý hydrogenerátor o celkovém průtoku $Q = 37,8 \text{ m}^3/\text{min} = 6,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$.

Větší z hydrogenerátoru dává průtok $Q_1 = 23,8 \text{ dm}^3/\text{min}$ a menší $Q_2 = 14 \text{ dm}^3/\text{s}$.

Zpětný výpočet doby vysouvání hydraulického válce:

$$t_1 = \frac{V_h}{Q} = \frac{6,49 \cdot 10^{-4}}{6,3 \cdot 10^{-4}} = 1,03 \text{ s} \quad (6.9)$$

Skutečná doba vysouvání je jen o tři setiny sekundy delší, než je doba zvolená. Proto tato doba vysouvání vyhovuje.

Výpočet průměru dolní pístnice

Čas zasouvání válce volím $t_2 = 0,6 \text{ s}$

Objem na spodní straně válce vypočítám ze vztahu:

$$Q = \frac{V_d}{t_2} \Rightarrow V_d = Q \cdot t_2 = 6,3 \cdot 10^{-4} \cdot 0,6 = 3,78 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \quad (6.10)$$

Průměr dolní pístnice dostanu ze vzorce:

$$V_d = S_d \cdot h = \frac{\pi \cdot (D^2 - d_d^2)}{4} \cdot h \quad (6.11)$$

Po úpravě:

$$d_d = \sqrt{D^2 - \frac{V_d \cdot 4}{h \cdot \pi}} = \sqrt{0,09^2 - \frac{3,78 \cdot 10^{-4} \cdot 4}{0,105 \cdot \pi}} = 0,059 \text{ m} \quad (6.12)$$

Průměr dolní pístnice volím tedy $d_d = 0,060 \text{ m} = 60 \text{ mm}$

Zpětný přepočít objemu na spodní straně a doby zasouvání:

$$V_d = S_d \cdot h = \frac{\pi \cdot (D^2 - d_d^2)}{4} \cdot h = \frac{\pi \cdot (0,09^2 - 0,06^2)}{4} \cdot 0,105 = 3,71 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \quad (6.13)$$

$$t_2 = \frac{V_d}{Q} = \frac{3,71 \cdot 10^{-4}}{6,3 \cdot 10^{-4}} = 0,59 \text{ s} \quad (6.14)$$

Celková doba stříhu je pak **1,62 s**. Doba vysouvání válce $t_1 = 1,03 \text{ s}$, plus doba zasouvání válce $t_2 = 0,59 \text{ s}$. Tímto je splněna podmínka, že by čas stříhu neměl přesáhnout 2 s.

Průtok při zpětném pohybu

Je to průtok, který se bude vracet přes rozváděč zpět do odpadu, při zpětném zdvihu. Vypočítám ho z horního objemu válce a z doby zasouvání válce, tedy:

$$Q_v = \frac{V_h}{t_2} = \frac{6,49 \cdot 10^{-4}}{0,59} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 66 \text{ dm}^3/\text{min} \quad (6.15)$$

Rozváděč musí mít takovou světlost, aby byl schopen propustit průtok $Q_v = 66 \text{ dm}^3/\text{min}$, je to nejvyšší průtok, který obvodem poteče.

Výpočet rychlosti vysouvání a zasouvání

$$Q = v \cdot S \Rightarrow v = \frac{Q}{S} \quad (6.16)$$

Rychlost vysouvání:

$$v_v = \frac{Q}{S_h} = \frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot (D^2 - d_h^2)} = \frac{6,3 \cdot 10^{-4} \cdot 4}{\pi \cdot (0,09^2 - 0,015^2)} = 0,102 \text{ m/s} \quad (6.17)$$

Rychlost zasouvání:

$$v_z = \frac{Q}{S_d} = \frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot (D^2 - d_d^2)} = \frac{6,3 \cdot 10^{-4} \cdot 4}{\pi \cdot (0,09^2 - 0,06^2)} = 0,178 \text{ m/s} \quad (6.18)$$

Pro tyto rychlosti vysouvání a zasouvání není potřeba užít teflonového těsnění, teflonové těsnění by bylo zapotřebí, kdyby se rychlost pohybovala okolo 0,5 m/s a více.

6.4 Znázornění průběhu výkonu při stříhu a výpočet ekvivalentního výkonu

Pro výpočet výkonu potřebuji znát průtok, který jsem vypočítal v kapitole 6.3 a dále průběhy tlaků při jednotlivých částech stříhu. Tyto tlaky odečítám z naměřených hodnot, které jsou uvedeny na grafu v příloze a také jsou na obrázku 6.1. Do následující tabulky uvádím také časy, které popisují, jak dlouho bude probíhat doba jednotlivých částí stříhu. Dále je při výpočtech v tabulce používána rychlost vysouvání $v_v = 0,102 \text{ m/s}$ a rychlost zasouvání pro rychlý posuv nahoru $v_z = 0,178 \text{ m/s}$.

Tabulka 6.2

Probíhající operace	Zdvih válce h [mm]	Doba trvání t [s]	Tlak Δp [bar]	Výkon P [W]	Výkon P [kW]
rychlý posuv dolů	15	0,147	3	189	0,189
první stříh	3	0,029	110	6930	6,93
meziposuv	64	0,628	8	504	0,504
druhý stříh	3	0,029	115	7245	7,245
zastavení	2	0,196	2	126	0,126
rychlý posuv nahoru	105	0,589	15	945	0,945

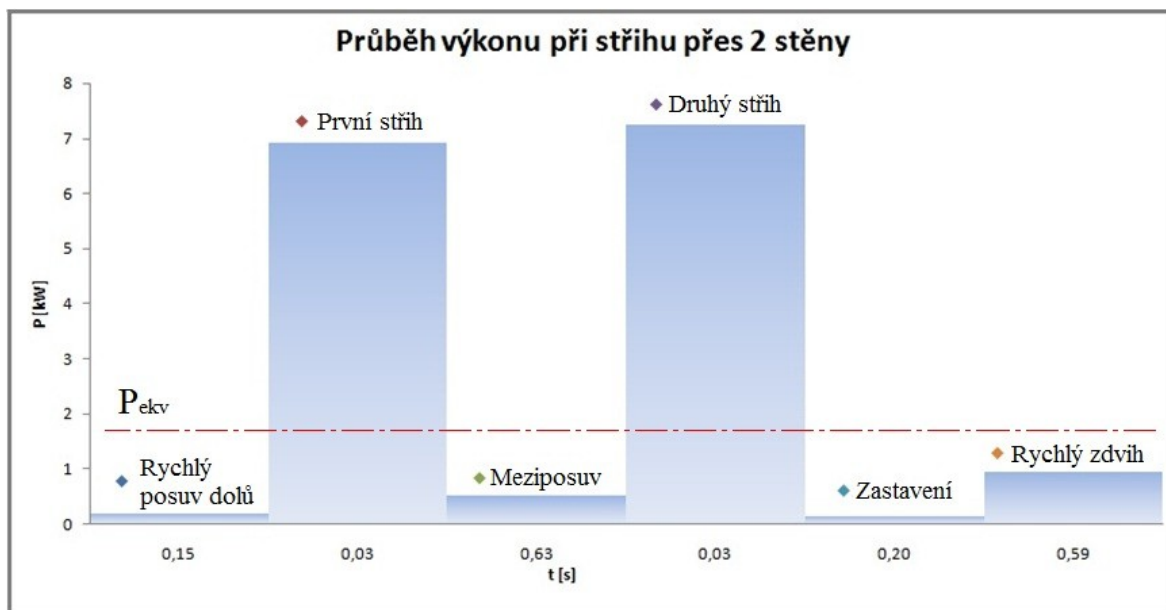
Příklad výpočtu výkonu v prvním řádku:

$$P = \Delta p \cdot Q = 3 \cdot 10^5 \cdot 6,3 \cdot 10^{-4} = 189 \text{ W} = 0,189 \text{ kW} \quad (6.19)$$

Příklad výpočtu doby trvání části stříhu v prvním řádku:

$$t = \frac{h}{v_v} = \frac{0,015}{0,102} = 0,147 \text{ s} \quad (6.20)$$

Z této tabulky potom vyplyne graf, na kterém je zobrazený potřebný výkon v závislosti na jednotlivých částech stříhu. Nejvyšší výkon nastane při stříhu přes stěny a doba jeho trvání bude přibližně 30 ms.



Obr. 6.3 – Hodnoty výkonu v jednotlivých částech stříhu

Ekvivalentní výkon:

Velká většina pohonů se vyznačuje pracovním cyklem s různými časovými intervaly práce a přestávek a v nich různými hodnotami výkonů. V takových případech se pak ztrátový výkon stanoví z ekvivalentních hodnot příkonu, či výkonu. Ztrátový výkon bude tedy:

$$P_{ekv} = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot \tau_1 + P_2^2 \cdot \tau_2 + P_3^2 \cdot \tau_3 + P_4^2 \cdot \tau_4 + P_5^2 \cdot \tau_5 + P_6^2 \cdot \tau_6}{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + \tau_6}} \quad (6.21)$$

$$P_{ekv} = \sqrt{\frac{0,189^2 \cdot 0,147 + 6,93^2 \cdot 0,029 + 0,504^2 \cdot 0,628 + 7,245^2 \cdot 0,029 + 0,126^2 \cdot 0,196 + 0,945^2 \cdot 0,589}{0,147 + 0,029 + 0,628 + 0,029 + 0,196 + 0,589}}$$

$$P_{ekv} = 1,858 \text{ kW} \quad (6.22)$$

Ekvivalentní výkon dosahuje při prostříhu přes obě stěny hodnoty přibližně 1,9 kW.

6.5 Stříhání přes jednu stěnu – výpočet průtoku, doby zdvihu, výkonu

Při stříhání přes jednu stěnu bude pracovat pouze jedno čerpadlo o větším průtoku, které jsem zvolil $Q_1 = 23,8 \text{ dm}^3/\text{min} = 3,96 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$. Druhé čerpadlo bude odlehčeno. Zdvih válce bude jiný, než při stříhání přes obě stěny. A to 38 mm, kdy nástroj přejede stěnu profilu ještě o 20 mm, aby došlo k úplnému oddělení materiálu, jak je uvedeno na obrázku 6.4.

Při výpočtech budu vycházet z těchto parametrů:

- Průměr pístu $D = 90 \text{ mm} = 0,09 \text{ m}$
- Průměr horní pístnice $d_h = 15 \text{ mm} = 0,015 \text{ m}$
- Průměr dolní pístnice $d_d = 60 \text{ mm} = 0,06 \text{ m}$
- Zdvih válce $h_1 = 38 \text{ mm} = 0,038 \text{ m}$
- Průtok jednoho čerpadla $Q_1 = 23,8 \text{ dm}^3/\text{min} = 3,96 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$

Výpočet doby vysouvání a zasouvání hydraulického válce:

Objem válce na horní straně:

$$V_{h1} = S_h \cdot h_1 = \frac{\pi \cdot (D^2 - d_h^2)}{4} \cdot h_1 = \frac{\pi \cdot (0,09^2 - 0,015^2)}{4} \cdot 0,038 = 2,35 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \quad (6.23)$$

Doba vysouvání:

$$t_1 = \frac{V_{h1}}{Q_1} = \frac{2,35 \cdot 10^{-4}}{3,96 \cdot 10^{-4}} = 0,59 \text{ s} \quad (6.24)$$

Objem válce na dolní straně:

$$V_{d1} = S_d \cdot h_1 = \frac{\pi \cdot (D^2 - d_d^2)}{4} \cdot h_1 = \frac{\pi \cdot (0,09^2 - 0,06^2)}{4} \cdot 0,038 = 1,34 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \quad (6.25)$$

Doba zasouvání:

$$t_1 = \frac{V_{d1}}{Q_1} = \frac{1,34 \cdot 10^{-4}}{3,96 \cdot 10^{-4}} = 0,34 \text{ s} \quad (6.26)$$

Po sečtení doby vysouvání a zasouvání jsem dostal celkovou dobu stříhu přes jednu stěnu $t = 0,93 \text{ s}$. Tato doba je kratší, než u stříhu přes obě stěny, neboť jsem zkrátil zdvih válce. I tady je splněna podmínka, že stříh by neměl přesáhnout 2 s.

Rychlost vysouvání a zasouvání vypočítám z rovnice kontinuity:

$$Q_1 = S \cdot v \Rightarrow v = \frac{Q_1}{S} \quad (6.27)$$

Rychlost vysouvání:

$$v_v = \frac{Q_1}{S_h} = \frac{Q_1 \cdot 4}{\pi \cdot (D^2 - d_h^2)} = \frac{3,96 \cdot 10^{-4} \cdot 4}{\pi \cdot (0,09^2 - 0,015^2)} = 0,064 \text{ m/s} \quad (6.28)$$

Rychlost zasouvání:

$$v_z = \frac{Q_1}{S_d} = \frac{Q_1 \cdot 4}{\pi \cdot (D^2 - d_d^2)} = \frac{3,96 \cdot 10^{-4} \cdot 4}{\pi \cdot (0,09^2 - 0,06^2)} = 0,112 \text{ m/s} \quad (6.29)$$

Pro další výpočty opět uvádím tabulku, ve které jsem počítal výkon při jednom stříhu a také dobu trvání jednotlivých částí stříhu, pro sestavení grafu probíhajícího výkonu. Dále je použita rychlost vysouvání $v_v = 0,064 \text{ m/s}$ a rychlost zasouvání pro rychlý posuv nahoru $v_z = 0,112 \text{ m/s}$.

Tabulka 6.3

Probíhající operace	Zdvih válce h [mm]	Doba trvání t [s]	Tlak Δp [bar]	Výkon P [W]	Výkon P [kW]
rychlý posuv dolů	15	0,234	3	119	0,12
první stříh	3	0,047	110	4363	4,36
zastavení	2	0,312	2	79,3	0,08
rychlý posuv nahoru	38	0,339	15	595	0,60

Příklad výpočtu výkonu v prvním řádku:

$$P = \Delta p \cdot Q_1 = 3 \cdot 10^5 \cdot 3,96 \cdot 10^{-4} = 119 \text{ W} = 0,12 \text{ kW} \quad (6.30)$$

$$t = \frac{h}{v_v} = \frac{0,015}{0,064} = 0,234 \text{ s} \quad (6.31)$$

Na obrázku 6.4 jsou zobrazeny hodnoty výkonu z přiložené tabulky. Nejvyšší výkon 4,36 kW nastane při prostříhu přes stěnu a potrvá přibližně 50 ms.



Obr. 6.4 - Hodnoty výkonu v jednotlivých částech stříhu

Ekvivalentní výkon:

Zde se bude ekvivalentní výkon skládat z rychlého posuvu dolů, ze stříhu, doby do zastavení a z rychlého posuvu nahoru.

$$P_{ekv} = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot \tau_1 + P_2^2 \cdot \tau_2 + P_3^2 \cdot \tau_3 + P_4^2 \cdot \tau_4}{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4}} \quad (6.32)$$

$$P_{ekv} = \sqrt{\frac{0,12^2 \cdot 0,234 + 4,36^2 \cdot 0,047 + 0,08^2 \cdot 0,312 + 0,60^2 \cdot 0,339}{0,234 + 0,047 + 0,312 + 0,339}} = 1,04 \text{ kW} \quad (6.33)$$

Ekvivalentní výkon dosahuje hodnoty $P_{ekv} = 1,04 \text{ kW}$, což je méně než při prostříhu přes obě stěny. Při návrhu výkonu hlavního elektromotoru budu vycházet z hodnot při stříhu přes jednu i druhou stěnu.

6.6 Porovnání parametrů při stříhu přes jednu stěnu a přes obě stěny

Srovnání stříhu přes jednu a dvě stěny uvádím v tabulce 6.4, která obsahuje hodnoty rychlosti vysouvání a zasouvání válce, dále hodnoty pracovního tlaku a výkony, které budou dosaženy při pracovních pohybech válce.

Tabulka 6.4

Parametry při pohybu	Střih - 1 stěna	Střih - 2 stěny
Rychlost vysouvání - $v_v [m/s]$	0,064	0,102
Rychlost zasouvání - $v_z [m/s]$	0,112	0,178
Pracovní tlak - vysouvání - $\Delta p_v [bar]$	110	115
Pracovní tlak - zasouvání - $\Delta p_z [bar]$	15	15
Výkon při stříhu - $P_v [kW]$	4,36	7,24
Výkon při návratu - $P_z [kW]$	0,6	0,94
Ekvivalentní výkon - $P_{ekv} [kW]$	1,04	1,86

Z tabulky vyplývá, že je třeba navrhnout hlavní elektromotor ze stříhu přes obě stěny, kde výkon dosahuje hodnoty $7,24 \text{ kW}$. Pracovní tlak jsem volil $\Delta p = 160 \text{ bar}$ a průtok $Q = 37,8 \text{ dm}^3/\text{min}$, potom výkon elektromotoru bude:

$$P_{el} = \Delta p \cdot Q = 160 \cdot 10^5 \cdot 6,3 \cdot 10^{-4} = 10\,080 \text{ W} = 10,08 \text{ kW} \quad (6.34)$$

Volím elektromotor od firmy Siemens typu 1LA9 133-4LA6x, který má hodnotu výkonu $P_{el} = 11 \text{ kW}$, otáčky elektromotoru jsou $n = 1\,450 \text{ ot/min}$. Elektromotor je s označením IM B5 – přírubový.

7. Výpočet obvodu pro typování, přidržení a pro filtraci

Typování či nastavování hlavního válce bude řízeno elektricky ovládaným rozváděčem z druhého obvodu o malém průtoku a výkonu. Mezi rozváděč a hlavní válec budou zařazeny škrtící a uzavírací (sedlové) ventily. Aby bylo zajištěno, že se vysoký tlak z prvního obvodu nedostane přes rozváděč do druhého obvodu. Druhý obvod bude dále ovládat další hydraulický válec, který bude sloužit pro přidržení profilu. Tento malý válec bude řízen elektricky ovládaným rozváděčem, doplněným o pojistný ventil. Obvodu bude

sloužit i pro filtraci a chlazení, pokud bude čerpadlo odlehčeno, kapalina půjde přes filtrační jednotku a chladič zpět do nádrže.

7.1 Volba druhého válce a návrh druhého čerpadla

Pro přidržení profilu volím sílu $F = 2000 \text{ N}$, a pracovní tlak $\Delta p = 50 \text{ bar}$. Z těchto zvolených hodnot spočítám průměr menšího válce:

$$\Delta p = \frac{F}{S} \Rightarrow S = \frac{F}{\Delta p} = \frac{2000}{50 \cdot 10^5} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (7.1)$$

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{S \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{-4} \cdot 4}{\pi}} = 0,023 \text{ m} = 23 \text{ mm} \quad (7.2)$$

Podle vypočítané hodnoty volím válec o rozměrech pístu $D = 25 \text{ mm} = 0,025 \text{ m}$, pístnici o průměru $d = 18 \text{ mm} = 0,018 \text{ m}$ a zdvih válce navrhujím $h = 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$. Plný zdvih válce nebude pravděpodobně využit, bude záležet na rozměrech profilu.

Zpětný přepoččet síly:

$$F = \Delta p \cdot S = \Delta p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 50 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot 0,025^2}{4} = 2455 \text{ N} = 2,45 \text{ kN} \quad (7.3)$$

Výpočet průtoku a rychlostí:

Pro pohon druhého hydrogenerátoru volím elektromotor od firmy Siemens typu 1LA7 080 – 4AA1x, IM B4 – přírubový o výkonu $P_{el} = 0,55 \text{ kW} = 550 \text{ W}$, motor má otáčky $n = 1395 \text{ ot/min}$.

Průtok bude potom:

$$P = \Delta p \cdot Q_2 \Rightarrow Q_2 = \frac{P}{\Delta p} = \frac{550}{50 \cdot 10^5} = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 6,6 \text{ dm}^3/\text{min} \quad (7.4)$$

Rychlost vysouvání válce:

$$Q_2 = S \cdot v_v \Rightarrow v_v = \frac{Q_2}{S} = \frac{Q_2 \cdot 4}{\pi \cdot D^2} = \frac{1,1 \cdot 10^{-4} \cdot 4}{\pi \cdot 0,025^2} = 0,23 \text{ m/s} \quad (7.5)$$

Rychlost zasouvání válce:

$$v_z = \frac{Q_2}{S} = \frac{Q_2 \cdot 4}{\pi \cdot (D^2 - d^2)} = \frac{1,1 \cdot 10^{-4} \cdot 4}{\pi \cdot (0,025^2 - 0,018^2)} = 0,46 \text{ m/s} \quad (7.6)$$

Hydrogenerátor bude tedy dávat průtok $Q_2 = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 6,6 \text{ dm}^3/\text{min}$ a válec se bude vysouvat rychlostí $v_v = 0,23 \text{ m/s}$ a zasouvat $v_z = 0,46 \text{ m/s}$.

7.2 Parametry vysouvání hlavního válce

Hlavní válec při nastavování či typování bude poháněn hydrogenerátorem o průtoku $Q_2 = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 6,6 \text{ dm}^3/\text{min}$. Doba pracovního stříhu bude tedy jiná.

Rychlost vysouvání hlavního válce:

$$v_v = \frac{Q_2}{S} = \frac{Q_2 \cdot 4}{\pi \cdot (D^2 - d_h^2)} = \frac{1,1 \cdot 10^{-4} \cdot 4}{\pi \cdot (0,09^2 - 0,015^2)} = 0,0177 \text{ m/s} \quad (7.7)$$

Rychlost zasouvání hlavního válce:

$$v_z = \frac{Q_2}{S} = \frac{Q_2 \cdot 4}{\pi \cdot (D^2 - d_d^2)} = \frac{1,1 \cdot 10^{-4} \cdot 4}{\pi \cdot (0,09^2 - 0,06^2)} = 0,031 \text{ m/s} \quad (7.8)$$

Doba vysouvání hlavního válce:

$$Q_2 = \frac{V_h}{t_1} \Rightarrow t_1 = \frac{V_h}{Q_2} = \frac{S_h \cdot h}{Q_2} = \frac{\pi \cdot (D^2 - d_h^2) \cdot h}{4 \cdot Q_2} = \frac{\pi \cdot (0,09^2 - 0,015^2) \cdot 0,105}{4 \cdot 1,1 \cdot 10^{-4}} = 5,9 \text{ s} \quad (7.9)$$

Doba zasouvání hlavního válce:

$$t_2 = \frac{V_d}{Q_2} = \frac{\pi \cdot (D^2 - d_d^2) \cdot h}{4 \cdot Q_2} = \frac{\pi \cdot (0,09^2 - 0,06^2) \cdot 0,105}{4 \cdot 1,1 \cdot 10^{-4}} = 3,4 \text{ s} \quad (7.10)$$

Pokud dojde k plynulému zdvihu válce bez zastavení, dojde k prostřížení profilu za 5,9 s a k návratu do výchozí polohy v čase 3,4 s.

Průtok při zpětném pohybu

$$Q_v = \frac{V_h}{t_2} = \frac{\pi \cdot (0,09^2 - 0,015^2) \cdot 0,105}{3,4} = 7,64 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 45,8 \text{ dm}^3/\text{min} \quad (7.11)$$

Rozváděč musí mít takovou světlost, aby byl schopen propustit průtok $Q_v = 45,8 \text{ dm}^3/\text{min}$.

7.3 Tepelný výpočet obvodu a návrh filtrační jednotky

Aby nedocházelo k přehřívání oleje v hlavním obvodu, musím zjistit, jak velký tepelný výkon nastane a podle něj navrhnout velikost chladiče. K výpočtu využiji následující tabulku 7.1, sestavenou v Excelu, kterou poskytla firma Interfluid. V tabulce jsou zadány jednotlivé veličiny, které jsou k výpočtu potřeba. Po nastavení hodnot vyjde, zda je potřeba navrhnout chladič a jakou by měl mít velikost.

Tabulka 7.1

Počet čerpadel	[ks]		1
Velikost nádrže	[dm ³]		160
Teplota okolí	[°C]		35
Pracovní tlak	[MPa]		16
Průtok	[dm ³ /min]		37,8
Časový faktor čerpadla	[0-1]		0,8
Povrch nádrže a potrubí	[m ²]		2,4
Součinitel prostupu tepla	[W.m ⁻² .K ⁻¹]		10
Ustálená teplota oleje max.	[°C]		60
Ustálená teplota oleje min.	[°C]		55
Tlak spád na prvcích	[MPa]		1
Časový faktor prvků	[0-1]		1
Počet prvků	[ks]		1
Teplo přiváděné z venku	[kW]		0
Účinnost čerpadla průtoková	[-]		0,85
Hmotnost kovových částí	[Kg]		250
Měrné skupenské teplo kovu	[J/Kg.K]		450
Měrné skupenské teplo kap.	[J/Kg.K]		1800
Hustota kapaliny	[kg/m ³]		890
Počáteční teplota oleje	[°C]		18
Voda vstup do chladič	[°C]		15
Vody výstup z chladiče	[°C]		40
Součinitel tepla chladič	[W.m ⁻² .K ⁻¹]		300
Měrné skupenské teplo voda	[W.m ⁻² .K ⁻¹]		4180
ČASOVÁ KONSTANTA	[s]		15367,50
Velikost lekáže	[dm ³ /min]		5,67
Teplo z provozu HG	[kW]		1,21
Teplo přivedené prvky	[kW]		0,63
Celkový ztrátový výkon	[kW]		1,84
Ustálená teplota	[°C]		111,7
Teplo odvedené nádrží	[kW]		1,008
Chlazený výkon	[kW]		0,83
Doba ohřátí oleje na teplotu	[min]	60	152,4
Střední teplotní spád	[°C]		30,83
Teplosměnná plocha	[m ²]		0,09
Průtok vody	[dm ³ /min]		0,48
	[°C]	na [°C]	za [min]
Doba ohřívání z teploty	55	60	23,7
Doba chlazení z teploty	60	55	32,5

Červenou barvou je vyznačen řádek chlazeného výkonu. Je tedy potřeba navrhnout chladič, který uchladí výkon 0,83 kW. Chladič volím dle katalogu vzduchový MG – AIR 2015 K od firmy Emmegi a elektromotor Siemens o výkonu $P = 0,055 \text{ kW}$, který bude pohánět ventilátor.

Chladič bude umístěn samostatně v blízkosti agregátu. Spojen se samostatným agregátem bude pomocí hadic.

Návrh filtrační jednotky

Pro filtraci kapaliny v nádrži volím zpětný filtr do průtoku $Q = 70 \text{ dm}^3/\text{min}$ a do tlaku $\Delta p = 10 \text{ bar}$. Tento zpětný filtr lze namontovat do nádrže a lze také provést vestavbu přímo do potrubí. Filtrační schopnost tohoto filtru je $5 \div 30 \mu\text{m}$. Součástí této filtrační jednotky je navíc vzduchový filtr a manometr, který ukazuje velikost zanesení. Nádrž je dále vybavena vzduchovým filtrem s filtrací $10 \mu\text{m}$.

8. Návod na obsluhu a údržbu

8.1 Použití

Hydraulický agregát je sestaven z typizovaných sériově vyráběných hydraulických prvků, které jsou dodávány předními dodavateli z tuzemska i zahraničí. Hydraulický agregát slouží pro pohon jednoúčelového stroje, v tomto případě lisu či stříhadla. Hydraulické pohony zabezpečují tyto funkce: posouvání jednotlivých částí lisu a hlavní lisování.

8.2 Popis základních prvků a částí hydraulického agregátu

Hydraulický agregát tvoří tyto prvky a části:

- Ocelová nádrž o objemu $V_n = 160 \text{ dm}^3$, která je vybavena příslušenstvím jako je elektrický a optický stavoznak, termostaty a čistící víko. Dále je opatřena výpustným šroubem s možností vypuštění případného kondenzátu ze dna nádrže.

- Elektromotor hlavního pohonu o výkonu 11 kW, (1450 ot/min 400 V 50 Hz), který slouží pro pohon hlavního dvojitého hydrogenerátoru. Hlavní dvojité zubový

hydrogenerátor má tyto parametry: větší hydrogenerátor $23,8 \text{ dm}^3/\text{min}$, 160 bar a menší hydrogenerátor $14 \text{ dm}^3/\text{min}$, 160 bar. Oba hydrogenerátory jsou elektricky odlehčeny, větší hydrogenerátor přes střed rozváděče a menší pomocí speciálního ventilu (pojistný a dvoupolohový čtyřcestný ventil). Hlavní hydrogenerátor je zdrojem hlavního tlaku pro pohon stříhadla stroje. Pokud probíhá stříhání přes jednu stěnu profilu, pracuje pouze větší hydrogenerátor, menší je odlehčen. Pokud se stříhá přes obě stěny profilu, pracují oba hydrogenerátory současně. Hydrogenerátory jsou proti protitlaku chráněny zpětnými ventily.

- Elektromotor pomocných pohonů stříhadla je při startu odlehčen a jeho parametry jsou: výkon 0,55 kW, (1395 ot/min 400 V 50 Hz). Tento elektromotor pohání hydrogenerátor, který napájí 2 sekce ventilů a současně slouží v odlehčeném stavu jako obvod filtrace a chlazení. Odlehčení je elektrické pomocí dvoucestného monostabilního ventilu. Kapalina ve zpětné větvi prochází přes vzduchový chladič s vlastním elektromotorem pohonu ventilátoru a odpadní filtr zpět do nádrže. Sekce pomocných ventilů jsou tvořeny dvěma třípolohovými rozváděči, pojistným ventilem a sedlovým rozváděčem, doplněné o dvojici škrtkových ventilů v kombinaci s jednosměrnými ventily. Každé z čerpadel je chráněno zpětným ventilem. Cívky elektromagnetů jsou na napětí 24 V DC.

- Hydraulický agregát je také vybaven: vzduchovým filtrem a přípojkami pro rychlou diagnostiku a měření tlaku v obvodu. Propojení s hydraulickými válci je pomocí ocelových bezešvých trubek a pryžových hadic, které jsou opatřeny šroubením.

Realizované funkce

- Stříhání
- Typování
- Pomocné funkce

Stříhání:

Hlavní funkce stroje je realizována hydraulickým válcem Ø15/Ø90 / Ø60 – 115. Válec se ovládá nezávisle na ostatních rozváděčích rozváděčem DN 6. Jedná se o třípolohový, čtyřcestný rozváděč řízený elektromagnety.

Typování:

Je to speciální funkce stroje, při které se nastavuje stříhadlo ovládané hydraulickým válcem Ø15/Ø90 / Ø60 – 115.

Pomocné funkce:

Pomocnou funkcí je ustavení, základní funkce stroje realizována hydraulickým válcem Ø25/Ø18 – 100. Válec je nezávisle ovládán třípolohovým, čtyřcestným rozváděčem DN 4, který je řízen pomocí elektromagnetů.

8.3 Obsluha a údržba

- 8.3.1 Před každým použitím hydraulického agregátu, je nutné provést vizuální kontrolu hladiny kapaliny v nádrži a spustit elektromotor pohonu čerpadla pouze v případě, že hladina kapaliny sahá nad středovou rysku ukazatele hladiny.
- 8.3.2 Hydraulický agregát se spouští postupně zapnutím přepínače hlavního elektrorozváděče a dalšími kroky v rámci řízení celého zařízení. Elektromotor se zapíná tlačítkem START a vypíná tlačítkem STOP. Po rozběhu elektromotoru je menší hydrogenerátor odlehčen přes odlehčovací rozváděč a větší hydrogenerátor pracuje v odlehčeném stavu přes rozváděč s otevřeným středem. Přivedením napětí na elektromagnet YV5B se válec pohybuje směrem dolů a stříhá. Přivedením napětí na elektromagnet YV5A se válec pohybuje směrem nahoru, odjíždí ze stříhu. Takto probíhá stříhání přes jednu stěnu profilu. Pokud probíhá stříhání přes obě stěny profilu, je nutné přivést napětí na elektromagnet YV6 rozváděče a v tu chvíli je do tlaku uveden i druhý hydrogenerátor.

Pro pomocnou funkci a pro typování:

Pro přestavení rozváděčů DN4, DN6 nebo sedlových rozváděčů, je třeba zrušit odlehčení přivedením napětí na cívku elektromagnetu YV1 na odlehčovací rozváděč. A pro pohyb válce je třeba také přivést napětí na cívky elektromagnetů YV4A a YV4B na sedlový rozváděč.

- 8.3.3 Tlak v hydraulickém obvodu je nastaven dle požadovaných parametrů. Přičemž je možnost ho snížit či zvýšit na požadovanou hodnotu. Hydraulický obvod obsahuje hlavní pojistný ventil a vedlejší pojistné ventily menších rozváděčů.

- 8.3.4 Obvod je vybaven termostatem ST1 a ST2. Termostat ST1 (nastaveno 55 °C). Při dosažení této teploty se sepne elektromotor MA3 ovládající vrtuli ventilátoru. Elektromotor MA3 se vypne po ochlazení oleje, teplotní difference je cca 4 °C. Termostat ST2 (nastaveno na 60 °C). Má funkci havarijního stopu. Vypne se hlavní motor MA1. Motor chlazení MA2 zůstává ve funkci proto, aby přečerpával kapalinu přes vzduchový chladič.
- 8.3.5 V případě poruchy funkce hydraulického agregátu je nutné vyhledat dodavatele, aby poruchu odstranil. S ohledem na seřízení výstupních parametrů se nedovoluje manipulovat s regulačními šrouby tlakové a průtokové regulace. Provozovatel může doplňovat kapalinu přes čerpadlový agregát opatřený filtrem, případně vyměnit hadice, při známkách průsaků.
- 8.3.6 Výměna hydraulického oleje probíhá min 1x ročně, při této výměně je potřeba vyměnit také filtrační vložky.
- 8.3.7 Hydraulický agregát má zabudované elektrické hlídání hladiny oleje v nádrži. Hlídání jsou dvě hladiny. Hladina Min I neprovede žádnou změnu, jenom zahlásí poruchu systému. Hladina Min II vypne všechny elektromotory.

8.4 Technická data

Výkon hlavního elektromotoru	11 kW
Pracovní tlak v hydraulickém systému	16 MPa
Max. průtok kapaliny hlavního hydrogenerátoru	23,8 + 14 dm ³ ·min ⁻¹
Výkon elektromotoru filtrace + pomocných funkcí	0,55 kW
Průtok okruhu pomocných funkcí	6,6 dm ³ ·min ⁻¹
Pracovní tlak v okruhu pomocných funkcí	5 MPa
Pracovní kapalina	minerální olej HLP VG 46, 160 dm ³
Rozsah teploty kapaliny v nádrži	5 - 60 °C
Napětí elektrické soustavy	400 V - 50 Hz
Napětí elektromagnetů	24 V DC

8.5 Materiál a provedení hydraulického agregátu

Většina dílčích montážních dílů agregátu je vyrobena z konstrukčních ocelí třídy 11 a třídy 12. Povrchová ochrana převážné části agregátu je provedena nátěrem.

8.6 Bezpečnost a ochrana zdraví při práci

Při používání hydraulického agregátu je nutné dodržovat tyto zásady:

- Obsluha musí být proškolená v oblasti hydraulických zařízení a musí být seznámena s návodem k použití
- Bez předběžné konzultace s dodavatelem není dovoleno obsluze samovolně seřizovat nastavené parametry hydraulického agregátu
- Dbát na to, aby agregát nebyl zbytečně v chodu, není – li potřeba
- Při výměně potrubních spojů, trubek nebo demontáži hadic je třeba dbát na čistotu odkládacího prostoru, aby se vyloučilo zanesení nečistot do potrubního systému

8.7 Objednávání náhradních dílů

V objednávce je nutné dle přiložené specifikace výrobní dokumentace uvést:

- název výrobku
- typové označení
- počet kusů
- číslo pozice na sestavném výkrese
- termín dodávky a způsob konzervace

8.8 Dodávka a záruky

Hydraulický agregát je dodáván bez náplně a přívodních hadic ve smontovaném stavu. Parametry jdou nastaveny podle průvodní dokumentace.

Součástí dodávky je průvodní dokumentace:

- Návod k použití
- Prohlášení o shodě
- Protokol o tlakové zkoušce
- Funkční schéma a specifikace hydraulických prvků

8.9 Některé možné poruchy a jejich řešení

Porucha – Elektromotor se netočí:

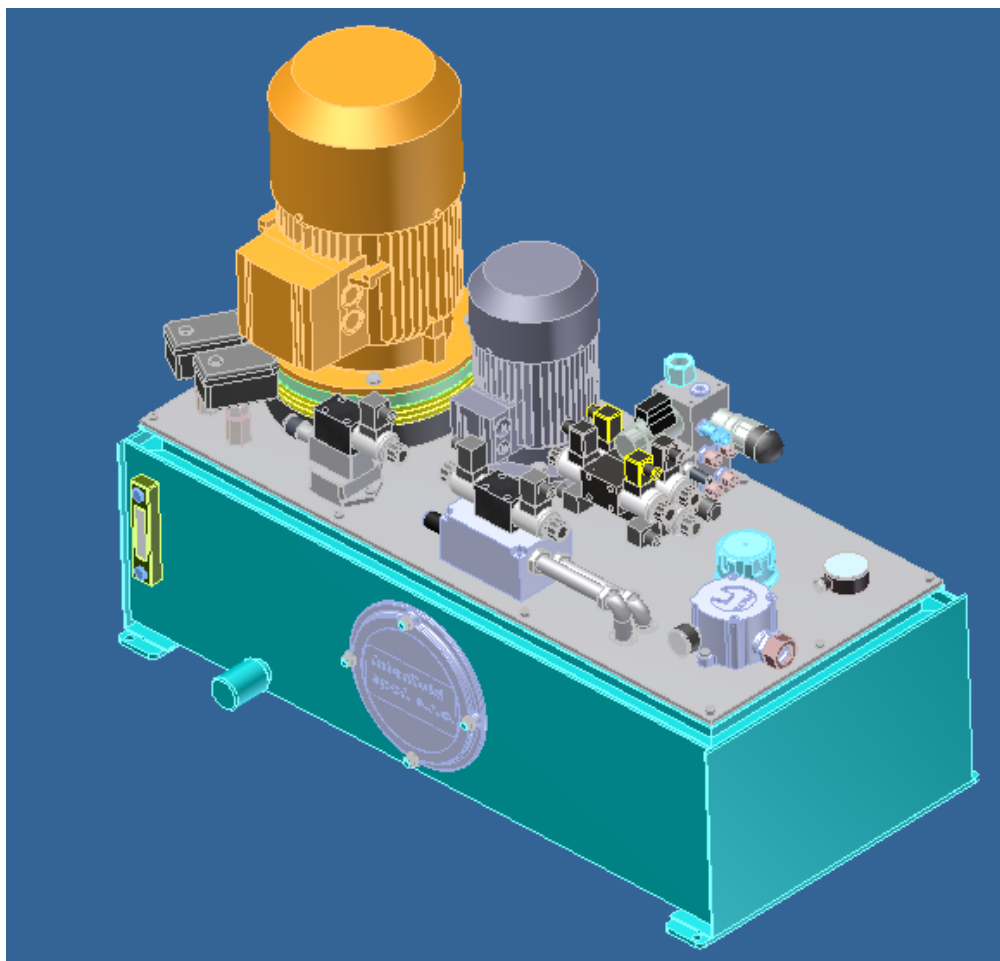
Mohlo dojít k výpadku elektrického proudu nebo není zapnutý hlavní vypínač. Není zapnuto ovládací napájení, nebo vypadnul jistič nebo motorová ochrana. Nebo vypršel čas a elektromotor vypnulo časové relé. Následující příčiny zkontrolujte, případně odstraňte závadu.

Porucha – Elektromotor se točí, ale nedostáváme žádný tlak:

Proveďte kontrolu směru otáčení elektromotoru, zkontrolujte nastavení pojistného ventilu, šroubovákem zatlačte na nouzové ovládání elektromagnetu rozváděče.

9. Závěr

Diplomová práce se zabývá návrhem řešení hydraulického agregátu, který slouží pro pohon prostřihovacího stroje profilů. Byl proveden rozbor použití profilů v průmyslu a vypracován přehled prostřihovacích strojů s různými variantami provedení. Dále bylo vybráno nejvhodnější řešení stříhadla, ve kterém byly provedeny potřebné hydraulické a tepelné výpočty. Dle výpočtů byl zvolen hydraulický válec o průměru pístu 90 mm a o průměru pístnice 60 mm. Z těchto rozměrů a ze zvoleného hydrogenerátoru pak bude doba pracovního stříhu 1,62 s pro stříhání přes obě stěny profilu a 0,93 s pro stříhání přes jednu stěnu. Pro pohon hydrogenerátoru byl zvolen elektromotor o výkonu 11 kW. Dále byl navržen obvod pro nastavování stříhadla. Zdrojem tlaku tohoto obvodu je druhý hydrogenerátor, který pohání elektromotor o výkonu 0,55 kW. Dále byl proveden tepelný výpočet, kterým bylo zjištěno, že je potřeba navrhnout chlazení. Byl zvolen vzduchový chladič o výkonu elektromotoru $P = 0,055 \text{ kW}$. Následně byl nakreslen sestavný výkres hydraulického agregátu, výrobní výkres víka nádrže, a vypracován návod na obsluhu a údržbu, čímž byly veškeré stanovené cíle diplomové práce splněny.



Obr. 9.1 – Hydraulický agregát

10. Seznam použité literatury

- [1] Firemní katalog dostupný z WWW:<<http://www.mandoska.com>> [cit. 2011-11-2]
- [2] Firemní publikace dostupná z WWW:<<http://www.elvac.eu>> [cit. 2011-11-2]
- [3] Firemní publikace dostupná z WWW:<<http://www.satjam.cz>> [cit. 2011-11-3]
- [4] Firemní katalog dostupný z WWW:<<http://www.matezex.cz>> [cit. 2011-11-3]
- [5] Firemní katalog dostupný z WWW:<<http://www.inteso.cz>> [cit. 2011-11-9]
- [6] Odborný časopis dostupný z WWW:<<http://www.blecha.at>> [cit. 2011-11-12]
- [7] *Technologie II.* [online] Dostupné z:http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm Citováno 13. 12. 2011
- [8] Úvod do tváření II. [online] Dostupné z: http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod_TV2.pdf Citováno 13.12.2011
- [9] Firemní katalog dostupný z WWW:<<http://www.fsmagnet.cz>> [cit. 2012-1-9]
- [10] Firemní publikace dostupná z WWW:<<http://www.elv.cz>> [cit. 2012-1-9]
- [11] Firemní katalog dostupný z WWW:<<http://www.punchingmachines.cz>> [cit. 2012-1-18]
- [12] Firemní katalog dostupný z WWW:<<http://www.plechotvarecistroje.cz>> [cit. 2012-1-19]
- [13] Projekční podklady firmy Interfluid spol. s.r.o.
- [14] Firemní katalog dostupný z WWW:<<http://www.marzocchipompe.com>> [cit. 2012-3-13]
- [15] Firemní katalog dostupný z WWW:<<http://www.elektromotory-siemens.cz>> [cit. 2012-3-15]
- [16] Firemní katalog dostupný z WWW:<<http://www.argo-hytos.com>> [cit. 2012-3-21]
- [17] Firemní katalog dostupný z WWW:<<http://www.stauff.com>> [cit. 2012-4-9]
- [18] Firemní katalog dostupný z WWW:<<http://www.metra-su.cz>> [cit. 2012-4-13]
- [19] Firemní katalog dostupný z WWW:<<http://www.hydroma.cz>> [cit. 2012-4-14]
- [20] Firemní katalog dostupný z WWW:<<http://www.boschrexroth.com>> [cit. 2012-4-15]
- [21] Firemní katalog dostupný z WWW:<<http://www.ayetop.cz>> [cit. 2012-4-15]

11. Seznam příloh

Příloha A: Specifikace použitých prvků

Příloha B: Motorová listina

Příloha C: Průběh tlaků při stříhu

Výkres č. BER-299-1: Funkční schéma hydraulického agregátu

Výkres č. BER-299-2: Víko nádrže – výrobní výkres

Výkres č. BER-299-3: Hydraulický agregát – sestavný výkres

Výkres č. BER-299-3/K1: Kusovník H. A.